

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки

6.050801 Мікро-та наноелектроніка
(код і назва)

на тему: Фотоперетворювачі на основі наноструктурованого кремнію. _____

Виконав: студент 4-ого курсу, групи ДП-51

(шифр групи)

Мадан Роман Григорович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Обухова Т.Ю. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю проф., к.т.н., доц.. Орлов А.Т. _____

Консультант з інформаційних питань доц.. к.т.н., Діденко Ю.В. _____

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Робота складається з 55 сторінок, 4 розділів та містить 35 ілюстрацій, 24 таблиці та 19 джерел в переліку посилань.

Актуальність теми – інтерес до створення гібридних органічних та неорганічних фотоперетворювачів, що мають більш низьку вартість, ніж традиційні.

Метою роботи є дослідження вольт-амперних характеристик фотоперетворювачів. Порівняння характеристик пористого кремнію, отриманого за різного часу травлення.

Об'єкт дослідження – фотоперетворювачі на основі наноструктурованого кремнію.

Предмет дослідження – методи одержання та морфологія наноструктурованого шару оксиду індію й олова, а також плівки меланіну.

Ключові слова: пористий кремній, меланін, фотоперетворювач, хімічне травлення у присутності металів.

ABSTRACT

The work consists of 55 pages, 4 sections and contains 35 illustrations, 24 tables and 19 sources in the list of references.

The actuality of the topic is the interest in the creation of hybrid organic and inorganic photoconductors that have a lower cost than traditional ones.

The purpose of the work is to study the volt-ampere characteristics of nanostructured silicon solar cells. Comparison of the characteristics of porous silicon obtained at different times of etching.

The object of research is nanostructured silicon solar cells.

Subject of research - methods of obtaining and morphology of nanostructured layer of indium and tin oxide, as well as melanine films.

Key words: porous silicon, melanin, solar cells, metal-assisted chemical etching.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів...	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Мікрокристалічні кремнієві сонячні елементи	8
1.1. Тонкоплівкові полікристалічні (мікрокристалічні) кремнієві сонячні елементи.....	8
1.2. Транспортування носіїв в мікрокристалічних кремнієвих сонячних елементах.....	9
1.3. Швидкісне виготовлення мікрокристалічних кремнієвих плівок	12
1.4. Ефект світлоуловлювання мікрокристалічних кремнієвих елементів.....	13
Розділ 2. Металічне хімічне травлення кремнію.....	18
2.1. Вступ в технологію МАСЕ.....	18
2.2. Вплив благородних металів на травлення.....	20
2.3. Шаблон на основі металевого хімічного травлення.....	23
Розділ 3. Фотоелектрохімічні властивості меланіну.....	26
Розділ 4. Експериментальна частина.....	29
Висновки.....	53
Список використаної літератури.....	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CVD – хімічне парофазне осадження;

XRD – рентгенівська дифракція;

ITO - покриття оксидом індію та олова;

MACE – хімічне травлення в присутності металів;

VLS – повітряне лазерне сканування;

FIB – фокусно-іонно-променеве осадження;

DHI – дигідроксіндол;

PEM – растрова електронна мікроскопія.

Вступ

В умовах зростаючого дефіциту сировини для кристалічних сонячних елементів в даний час вживаються нові зусилля з вивчення шляхів створення практичних тонкоплівкових сонячних елементів для використання в майбутніх установках сонячних елементів у великому масштабі. Зокрема, оскільки тонкоплівкові полікристалічні кремнієві сонячні елементи виготовляються з тих же матеріалів, що і часто використовувані в об'ємних кремнієвих сонячних елементах, вони з ентузіазмом вивчаються в лабораторіях по всьому світу через велику кількість сировини для таких пристроїв, їх стабільності і характеристик, якими вони повинні володіти як кремнієві пристрої. Частково мотивація цих досліджень пов'язана з теоретичним висновком про те, що якщо ці пристрої можуть бути побудовані таким чином, щоб вловлювати достатню кількість світла, в ідеалі, навіть при використанні сонячних елементів, в яких товщина фотоелектричного шару складає всього кілька мікрометрів, можна досягти ефективності фотоперетворення більше 20%.

Історично склалося так, що кремнієві тонкоплівкові фотопоглинаючі шари в таких пристроях були утворені в результаті високотемпературних процесів, переважно хімічним осадженням шарів, рідиннофазною епітаксією та рекристалізацією зони розплаву.

Проте, стало очевидно, що властивості підстилаючої речовини є ключем до отримання високоефективних тонкоплівкових кремнієвих сонячних елементів. Тобто високоякісний тонкоплівковий кремнієвий фотоелектричний шар може бути отриманий за допомогою придушення дифузії домішок знизу та використання методу епітаксiального осадження, який використовує характеристики основного матеріалу, і,

очевидно, монокристалічний кремній став оптимальним матеріалом для підкладки. Відповідно, це дослідження змістилося в бік переробки монокристалічного кремнію, і в даний час активно ведуться дослідження в області монокристалічного тонкоплівкового кремнію на сонячних батареях, в першу чергу роблячи акцент на технології розшарування пористого кремнію.

Нові технологічні застосування молекулярних сполук різної структури сьогодні стають фундаментом нових напрямків, як наукових досліджень, так і практичної реалізації при створенні сучасної спеціальної техніки. До нового перспективного органічного матеріалу, що володіє унікальними властивостями, слід сьогодні віднести меланін. Меланін - природний пігмент, який грає важливу роль у функціонуванні живих організмів. Меланін відомий з 70-х років минулого століття як речовина, що володіє напівпровідниковими властивостями.

Було встановлено, що меланін виявляє ефект перемикання при відносно невеликих електричних полях. Найбільш важливі наукові результати за квантовими ефектами в меланінові, отримані раніше, зводяться до наступного: виділений водорозчинний меланін в окрему групу - водорозчинний пігмент, так як всі меланіни є нерозчинними у воді пігментами. Shosuke Ito відзначив високу хімічну стійкість водорозчинного пігменту меланіну до хімічних реагентів. Нерозчинні у воді пігменти меланіну хімічно нестійкі, легко руйнувалися протягом декількох годин. Водорозчинний пігмент меланіну володіє унікальними властивостями на відміну від відомих синтетичних меланінів[1].

Розділ 1

Мікрокристалічні кремнієві сонячні елементи

1.1. Тонкоплівкові полікристалічні (мікрокристалічні) кремнієві сонячні елементи

Мікрокристалічні кремнієві сонячні елементи, утворені плазмою CVD при низьких температурах імовірно мають більш короткий термін служби, ніж монокристалічні елементи, і це звичайне явище використовувати р-і-п-структуру, що включає внутрішнє електричне поле, так само, як і в аморфних сонячних панелях. Мікрокристалічний кремнієвий сонячний елемент типу р-і-п утворюється в результаті процесу, аналогічного аморфному сонячному елементу. Строго кажучи, ці елементи можна розділити на р-і-п і п-і-р типи відповідно до порядку осадження плівки, хоча в обох випадках шар вікна сонячного елемента є р-образним шаром.

Характеристики зерна з р-і-п-структурою вперше були повідомлені співробітниками університету Нойхчетель [2]. На відміну від аморфних сонячних батарей, цей елемент не псується при впливі світла. Найперші повідомлення про характеристики п-і-р елементів були зроблені дослідним відділом Kaneka PV з використанням структури для поглинання світла, описаної нижче. Ці елементи мають внутрішню ефективність перетворення 10,7% і очевидну ефективність 10,1% при товщині плівки 2 мкм (площа поверхні 1 см², виміряна Японською організацією щодо забезпечення якості). (Рисунок 1) [3]. Також, піддаючи кремнієву плівку в фотоелектричному шарі цього елемента вимірам рентгенівської дифракції (XRD), було встановлено, що вона має переважно (110) орієнтацію. Р-і-п і п-і-р елементи мають різні

характеристики в зв'язку з різною послідовністю їх виготовлення. Велика різниця полягає в тому, що основним шаром р-і-п елементу є прозорий електрод, в той час як основним шаром n-і-р елементу є задній електрод.

Як правило, прозорі електроди виготовляються з оксидів, і оскільки існує ризик їх відновлення атомами водню, необхідними для формування мікрокристалічних елементів, в умовах створення р-і-п елементів існує менше технологічне вікно. З точки зору легкості формування інтегрованих структур, що є характеристикою тонкоплівкових сонячних елементів, перевагою елементів є те, що вони можуть бути сформовані як модулі суперструктур з використанням методів інтеграції, аналогічних тим, які використовуються для аморфного кремнію як описано нижче. Крім того, має бути можливим створення інтегрованих структур n-і-р елементів методами, еквівалентними таким, які використовуються для сонячних елементів на основі Cu (InGa) Se₂ [4]. В даний час важко визначити, що є кращим, але необхідно зробити висновок щодо вартості, продуктивності та додатків через виробництво підмодулів у майбутньому.

1.2. Транспортування носіїв в мікрокристалічних кремнієвих сонячних елементах

Щоб підвищити ефективність цих сонячних елементів у майбутньому, абсолютно необхідно зрозуміти взаємозв'язок між кристалічною мікроструктурою, включаючи межі зерен і процес транспортування носія. Зокрема, час життя носія (довжина дифузії), що визначає характеристики сонячних батарей і швидкість рекомбінації на кордонах зерен. Однак у елемента мікрокристалічного кремнію загальна нерівномірність, яка є типовою для її зернової структури, має прямий і

комплексний вплив на транспорт носіїв, і, таким чином, не було ніяких переконливих звітів щодо цих фізичних властивостей шляхом прямого вимірювання та аналізу. Скоріше, ефективність цих сонячних елементів виявилася недавно, тому були зроблені лише перші кроки в дослідженні їх фундаментальних властивостей.

Було доведено, що дуже малі кристали, отримані при низькій температурі (як обговорюється у вступі), демонструють відносно сприятливі характеристики елементів. Хоча характеристики елемента є продуктом струму, напруги та коефіцієнта заповнення, напруга розімкнутого ланцюга прямо пов'язана з терміном служби елемента і використовується тут в якості орієнтира для визначення загальних характеристик елемента. Це пояснюється тим, що струм пов'язаний з ефектами поглинання світла і товщиною плівки елементів, як описано нижче. [5]

Згідно Вернеру і ін.[6], причина, по якій мікрокристалічний кремнієвий елемент має характеристику 10% і більше незалежно від розміру зерна, полягає в дуже низькій швидкості рекомбінації на кордонах зерен. Ця низька швидкість рекомбінації походить від невеликої висоти бар'єру на кордонах зерен, що гарантується (а) пасивацією водню на дефектах границі зерен, (б) незарядженими власними зернами (низькою щільністю кисню), і (с) (110) орієнтацією кристалічних зерен.

На рис.1, як видно зі співвідношення між напругою розімкнутого ланцюга, розміром зерна і швидкістю рекомбінації, вже узагальнені Вернером і ін., подальше збільшення терміну служби кристалічного кремнієвого шару (тобто поліпшення Voc) для істотного підвищення ефективності може вимагати не тільки значно більшого розміру зерна, але і меншої швидкості рекомбінації на кордонах зерен (наприклад, 100 см /

с). Або, іншими словами, як би сильно не збільшувався розмір зерна, як показано на рисунку 1, ефективність конверсії зменшується при збільшенні швидкості рекомбінації на кордонах зерен (відповідно плівці, виробленій при високій температурі).

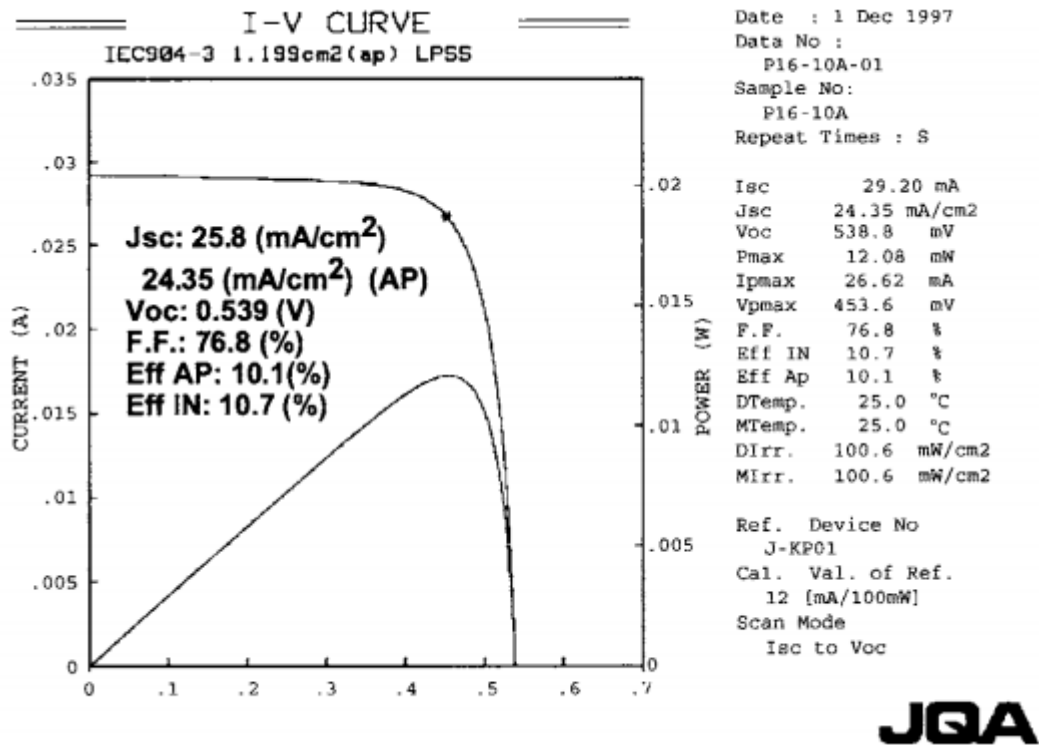


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики мікрокристалічного кремнієвого елемента n-i-p-типу (товщина плівки 2 мкм, площа 1 см², виміряна JQA).[6]

Реальна кристалічна структура мікрокристалічного кремнієвого сонячного елемента досліджена методом просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ) і атомно-силової мікроскопії (АСМ). Наприклад, Мейер та ін. [6] в університеті Нойхтел класифікували кристалічні структури. Зрозуміло, мікроструктури розрізняються залежно від виробничого процесу і умов. Також повідомлялося, що в зернах переважають дифузійні транспортні механізми, в той час як дрейфуючий транспорт помітніший на кордонах зерен. Ці кордони зерен мають

аморфні характеристиками, які призводять до пасивуючого ефекту, і було відзначено, що це може знизити швидкість рекомбінації кордонів.

Також були досліджені характеристики клітин в залежності від концентрації силану по відношенню до розбавленого водню [7] і показано, що пік продуктивності клітин (де досягається максимальне значення V_{oc} для кристала) відбувається на кордоні, де отримувана плівка переходить з аморфної у кристалічну. Можна сподіватися, що більш точний аналіз мікроструктури і більш глибоке розуміння її взаємозв'язку зі швидкістю рекомбінації кордонів стануть можливими в майбутньому.

1.3. Швидкісне виготовлення мікрокристалічних кремнієвих плівок

Щоб розглянути швидкість виготовлення мікрокристалічних кремнієвих плівок, важливо зрозуміти механізми їх виробництва.

Грунтуючись на великій кількості експериментальних даних, отриманих відділом досліджень Kaneka, керівництво по формуванню високоякісного мікрокристалічного кремнію плазмою CVD дуже просте - до тих пір, поки можливо забезпечити достатню кількість атомів водню в субстрат під час кристалізації без пошкодження (в основному іонного пошкодження), швидкість виготовлення плівки може бути поліпшена без погіршення характеристик клітин. Пропускна здатність є ще одним важливим фактором для масового виробництва, і тому дуже важливо розробити способи високошвидкісного нанесення плівки на великі площі. Підрозділ фотоелектричних досліджень Kaneka PV Research Division, як зазначено нижче, розробив технологію виробництва високоякісних

однорідних тонких мікрокристалічних плівок кремнію зі швидкістю осадження плівки 1,1 нм / с на підкладки розміром 1 метр.

1.4. Ефект поглинання світла на мікрокристалічних кремнієвих елементах

Технології поглинання світла є одним із способів підвищення ефективності мікрокристалічних сонячних елементів. Це основний метод для елементів, виготовлених з мікрокристалічного кремнію, оскільки на відміну від аморфного кремнію, він є непрямим поглиначем з низьким коефіцієнтом поглинання. Тобто товщина Si плівки, яка утворює активний шар в мікрокристалічному кремнієвому сонячному елементі, становить всього кілька мікрометрів, тому вона не здатна поглинати достатню кількість падаючого світла в порівнянні з сонячними елементами, які використовують звичайні кристалічні підкладки. В результаті, важко отримати високий фотоелектричний струм. Технологія поглинання світла дозволяє розширити оптичний шлях падаючого світла всередину сонячного елемента, викликаючи множинні відображення, тим самим покращуючи поглинання світла в активному шарі.

Пастка світла може бути досягнута двома способами: (а) шляхом створення відображаючого шару з високою відображаючою здатністю на задній поверхні для відображення падаючих променів світла без втрат поглинання і (б) шляхом створення текстурованої структури на задній поверхні тонкоплівкового сонячного елемента Si. Зрозуміло, також важливий термін служби носія, і, зрозуміло, довжина дифузії повинна бути приблизно такою ж довгою, як і товщина плівки.

Основна увага приділяється ефектам поглинання світла на текстурованих структурах, що утворюються на кремнієвій поверхні. Характеристики сонячних елементів можуть бути поліпшені за допомогою зменшення температури виготовлення плівки (хоча при зменшенні температури виготовлення плівки ступінь текстуровання поверхні також знижується). Сонячний елемент з текстурованою поверхнею і шаром для збільшення поглинання має структуру зірки (природна текстура поверхні і поліпшена абсорбція з заднім відбивачем).

В даний час використовуються два типи споруд для поглинання світла. На рисунку 2 (а) показана комірка, в якій використовується фіатний відображаючий шар на задній поверхні, а на рисунку 2 (b) показана комірка, в якій використовується текстурований тип високовідбиваючого шару. Цей високовідбиваючий задній шар також виступає в якості заднього електрода сонячного елемента. Тонкоплівковий полікристалічний кремній утворює природну структуру з текстурованою структурою на поверхні, і розмір цієї структури сильно залежить від товщини плівки.

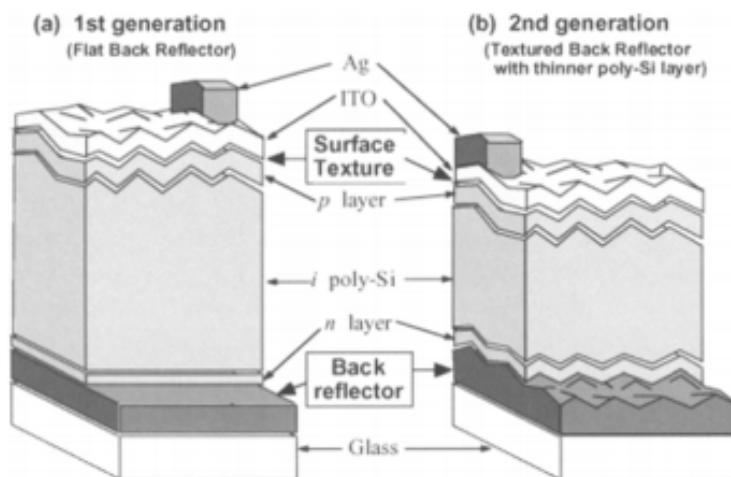


Рис. 2. Поперечні перерізи через мікрокристалічні кремнієві стельові пристрої, які утримують світло. (а) Перше покоління (фіатний відбивач); б) друге покоління (текстурований відбивач, більш тонкий полікристалічний кремнієвий шар).[9]

Поверхні підходять для поглинання світла, але коли плівка відносно тонка (1,5 мкм та менше), потрібна текстура поверхні не формується [9]. Тому необхідно використовувати текстурований відбиваючий шар на задній поверхні. Також, характеристики текстури залежать не тільки від товщини плівки, а й від умов виготовлення.

Елементи такого роду виготовляються наступним способом. По-перше, після формування шару відбивача на скляній підкладці на нього наноситься шар n-типу кремнію за допомогою плазми CVD. Потім активний шар, що представляє собою тонкий шар внутрішнього полікристалічного кремнію, утворюється плазмою CVD. Нарешті, по черзі осідаються р-образна кремнієва плівка і плівка олова індію (ІТО), а зверху утворюється гребінчато-сітчастий електрод.

Тепер розглянемо ефект поглинання світла тонкоплівкового полікристалічного кремнієвого шару завтовшки 1,5 мкм. На рисунку 3 (а) показані спектри відображення зразків, що відповідають двом типам

елементів товщиною 1,5 мкм (один з фіатним відбивачем і інший з текстурованим відбивачем), а на рисунку 3 (b) показані відповідні спектри ефективності збору.

На рисунку 3 (a) показаний мінімум, який з'являється в спектрах на відстані близько 550 нм, оскільки плівка ІТО була осаджена в умовах, не відображаючих світло. Коливання, які спостерігаються на довжинах хвиль понад 600 нм, викликані інтерференцією з кремнієвою плівкою в активному шарі. Відбивна здатність зразка з текстурованою задньою поверхнею значно нижче в інфрачервоній області. На рисунку 3 (b) показані спектри спектральної чутливості, відповідні фіатним і текстурованим зразкам. У разі текстурованого зразку видно, що чутливість вище при довжинах хвиль понад 600 нм, що відповідає зменшенню спектра відбиття при збільшенні довжини хвиль.

Цей результат забезпечує експериментальну перевірку вкладки, зробленого текстурованими структурами в поглинанні світла. У майбутньому необхідно буде підвищувати ефективність за рахунок отримання більших струмів на тонкій плівці, що в свою чергу досягається формуванням більш досконалих структур для поглинання світла за рахунок контролю профілю мікрокристалічної поверхні кремнію і підстилаючого відображаючого шару [10].

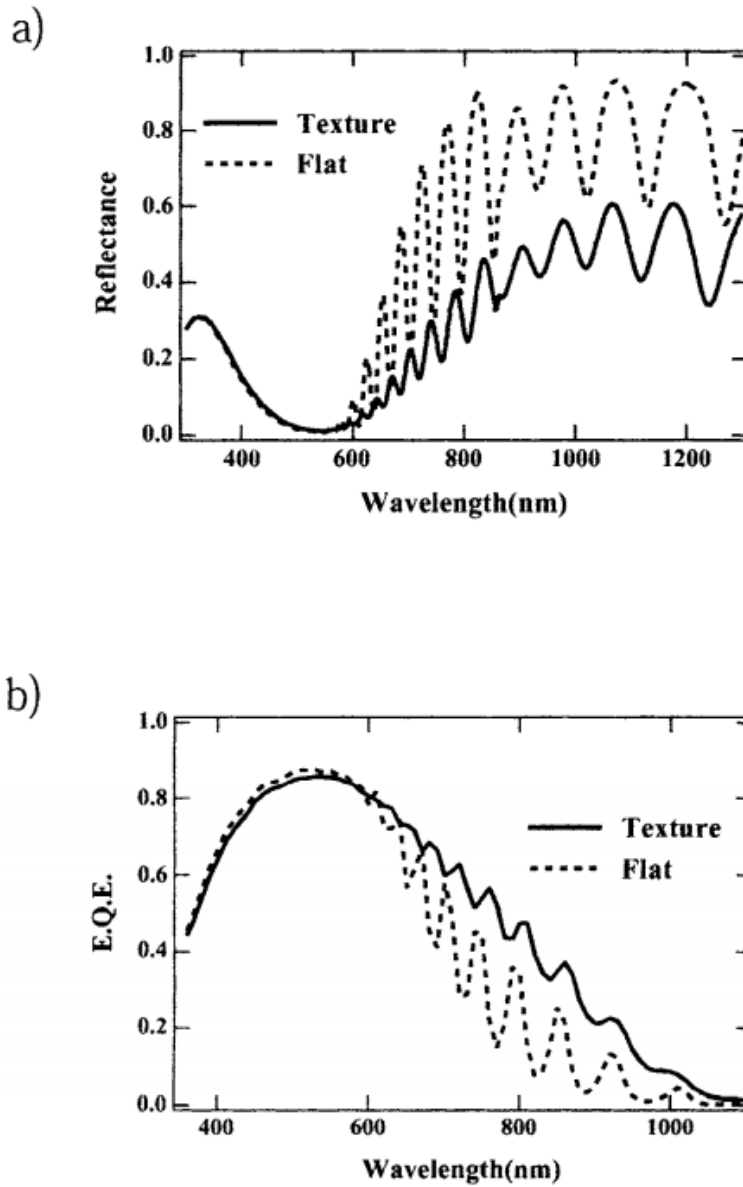


Рис.3. Характеристики мікрокристалічних сонячних елементів на скляних підкладках, що мають плоскі і текстуровані відбивачі заднього виду: (а) відбивна здатність і (b) характеристики ефективності збору (квантова ефективність).[10]

Розділ 2

Хімічне травлення кремнію в присутності металів

2.1. Вступ в технологію MACE

Контрольоване виготовлення наноструктур Si є необхідною умовою для їх застосування в приладах. Численні методи мають були розроблені для виготовлення наноструктур Si за принципом "зверху вниз" або висхідні підходи, такі як парово-рідинно-твердий метод зростання, реактивно-іонне травлення, електрохімічне травлення, або хімічне травлення в присутності металів, всі з яких спрямовані на контроль різних параметрів Si-структур. Серед цих методів, хімічне травлення в присутності металів привертає все більшу увагу останні декілька років з кількох причин. По-перше, хімічне травлення в присутності металів - це простий і недорогий метод виготовлення різних наноструктур Si з можливістю контролю різних параметрів (наприклад, форма поперечного перерізу, діаметр, довжина, орієнтація, тип допінгу і рівень допінгу). Практично всі процедури можуть бути виконані в хімічних лабораторіях без дорогого обладнання. По-друге, хімічне травлення в присутності металів дозволяє контролювати орієнтацію наноструктур Si (наприклад, нанодроти, пори) щодо підкладки. На відміну від цього, при вирощуванні нанодроту Si кристалографічна орієнтація нанодроту Si залежить від діаметра. [12] У зв'язку з існуванням еквівалентних кристалографічних напрямків складно вирощувати епітаксціальні нанодроти Si з рівномірною орієнтацією щодо поверхні Si субстрату. Наприклад, зростання епітаксціального і вертикального [110] нанодроту на (110) підкладках або

[100] нанодроту на (100) підкладках ще не був здійснений без використання відповідного шаблону. З іншого боку, добре відомо, що електрохімічне травлення відбувається анізотропно уздовж $\langle 100 \rangle$ напрямків. Хоча хімічне травлення в присутності металів за своєю природою є анізотропним, були розроблені методи контролю напрямку травлення, що дозволяють виготовляти вертикально вирівняний нанодріт Si на (100) і не (100) підкладках або в певних похилих напрямках на (100) підкладках. По-третє, методи на основі VLS можуть використовуватися тільки для вирощування дротів круглого перетину, в той час як хімічне травлення в присутності металів є більш гнучким і може бути використано для створення структур з більш високим відношенням поверхні до об'єму. По-четверте, кристалічна якість нанодротів Si, виготовлених методом травлення в присутності металів з монокристалічних субстратів, в цілому є високою. Хоча їх поверхні зазвичай більш шорсткі, ніж у нанодротів, одержуваних методом VLS зростання, нанодріт не містить очевидних кристалографічних дефектів, що викликаються травленням на основі розчину, а сухе травлення, як правило, вносить дефекти в область, близьку до травлення Si поверхонь. По-п'яте, немає ніяких очевидних обмежень на розмір елементів, виготовлених за допомогою хімічного травлення в присутності металів. Однак існує відоме правило $2 W_{sc}$ (W_{sc} - ширина області просторового заряду в Si-підкладці), що обмежує розмір структури, отриманої при електрохімічному травленні, принаймні в області макropористого кремнієвого травлення[13].

Тому хімічне травлення в присутності металів в останнє десятиліття набуває все більшого значення. Цей метод використовувався для виготовлення різних наноструктур Si або Si / Ge. Структури, виготовлені

методом хімічного травлення в присутності металів, продемонстрували свій потенціал застосування в самих різних областях - від перетворення сонячної енергії, перетворення теплової енергії, і акумулювання енергії, до хімічного і біологічного зондування та біомімічної надгідрофобності.

2.2. Вплив благородних металів на травлення

У металевому хімічному травленні найчастіше використовуються благородні метали Ag, Au, Pt і Pd. Вони можуть бути нанесені на підкладку Si різними методами, які включають термічне випаровування, розпилення, випаровування електронного пучка (електронного пучка), електроосадження, осадження електродів, фокусно-іонно-променеве (FIB) осадження, або спін-покриття частинок іншими методами. Для отримання структурованих зразків Si за допомогою хімічного травлення в присутності металів, фізичне осадження у вакуумі (наприклад, термічне випаровування, розпилення і електронне випромінювання) є сприятливим, оскільки морфологія отриманого благородного металу може легше контролюватися в цих методах[14].

Осадження з електролітом є простим методом для осадження благородних металів і зазвичай використовується для внесення благородних металів, якщо немає суворої вимоги до морфології отриманих травлених структур. Метал, осаджений за допомогою осадження з FIB, зазвичай супроводжується забрудненням галієм і аморфним вуглецем, а поведінка травлення не передбачувана. [15]

Обговорення тут буде зосереджено на розчинах, що складаються з іонів HF і благородних металів, оскільки розкидання під такими розчинами є, одночасно, процесом хімічного травлення в присутності металів. Дендритові структури осажденного металу утворюються під час занурення підкладки Si у розчин, що містить HF і Mn^{+} ($M = Ag$ або Au) протягом тривалого часу (наприклад, довше 30 хв), крім травлення Si субстрат (рис. 4б). Досить складно описати детальний механізм утворення металевих дендритів і поведінку травлення, що виникає в цій системі, через товстий шар дендритної структури, що покриває травлені структури Si. Оскільки Si протравлюється в розчині HF / $AgNO_3$ і в розчині HF / $KAuCl_4$, то виявляються подібні травлені структури і подібна дендритна структура металу.

Морфологія електродів Pt і Cu-фільтрів, осаджених з розчину, що містить HF, відрізняється від такої у Ag та Au. При збільшенні часу травлення Pt і Cu мали тенденцію до утворення щільного полімеру на поверхні підкладки Si [84], а не дендритних структур. Щільна металева плівка далі перешкоджала доступу HF до поверхні Si-підкладки і тому блокувала подальше травлення підкладки Si. [16]

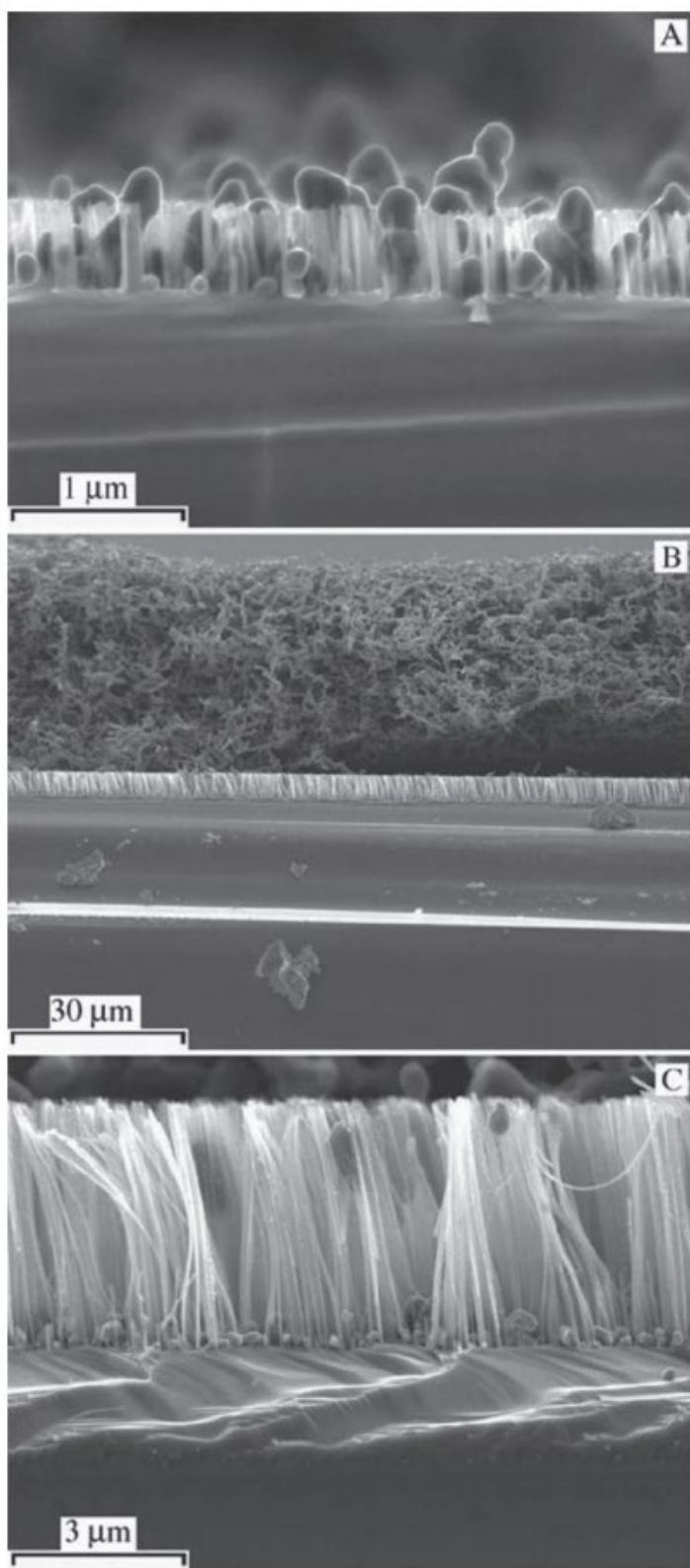


Рис.4. Фотографії поперечної скануючої електронною мікроскопією (СЭМ) підкладки р-типу Si (111), витравлених високочастотним травленням AgNO_3 протягом а - 5 хвилин і б, в) - 30 хвилин.[16]

2.3. Шаблон на основі металевого хімічного травлення

Контрольоване виготовлення наноструктур на основі Si і Si має важливе значення для застосування наноструктур Si. Хімічне травлення Si за допомогою металу, представлене в попередньому розділі, дозволяє виготовляти Si нанопроволку або пори з контрольованим рівнем допінгу і частково контрольованою орієнтацією. Однак питання про контроль положення і діаметра нанопроволки залишається невирішеним. На основі простого явища хімічного травлення за допомогою металу, при якому Si субстрат під покриттям з благородних металів травиться набагато швидше, ніж Si без покриття з благородних металів, Huang et розробили простий, але універсальний метод для виготовлення високоефективних нанопроволок Si, що дозволяє контролювати діаметр і довжину нанопроволки, а також щільність нанопроволочних сіток. В принципі, такий підхід дозволяє контролювати тип допінгу, рівень допінгу, кристалографічну орієнтацію і орієнтацію нанопроволки Si по відношенню до Si-субстрату. На основі цього методу було розроблено кілька підходів до виготовлення нанопроволочних решіток Si різного діаметру, Si нанопроволки діаметром менше 10 нм, вертикально вирівняні (100) Si нанопроволочних сіток щодо підкладки, а також надрешітки з нанопроволоки SiGe. Між тим, інші впорядковані Si наноструктури, включаючи нанополярні масиви і масиви пор, були успішно виготовлені. [17]

Ключовим моментом у контрольованому виробництві наноструктур Si є осадження полімеру з благородного металу, що містить пори, які в свою чергу визначають положення і розмір інших структур після травлення. Зменшення розмірів сфери було досягнуто за допомогою

процесу RIE, переносячи тісні упаковані PS сфери у відкриті. На наступному етапі латунь благородного металу наносили термічним випаровуванням на підкладку Si з нещільно упакованою сферою PS. Результатом цього процесу став безперервний шар благородного металу з впорядкованим набором пор. Діаметр пор визначався залишковим діаметром протравлених сфер. Si підкладка, покрита суцільною плівкою з порами, позначеними далі як сітка, було викарбувано на протравленому матеріалі, що містить HF та H₂O₂. Під час травлення сітка з благородного металу вертикально занурювалася в Si-підкладку. Неприєднаний Si виступав з вигравурованого середовища на сітці, демонструючи себе у вигляді масиву Si нанодротів. На рис. 14а показана схема хімічного травлення металу за допомогою наносферної літографії, а на рис. 14б показано типове зображення масивів нанодротів Si, отримане за цим методом, відповідно.[18]

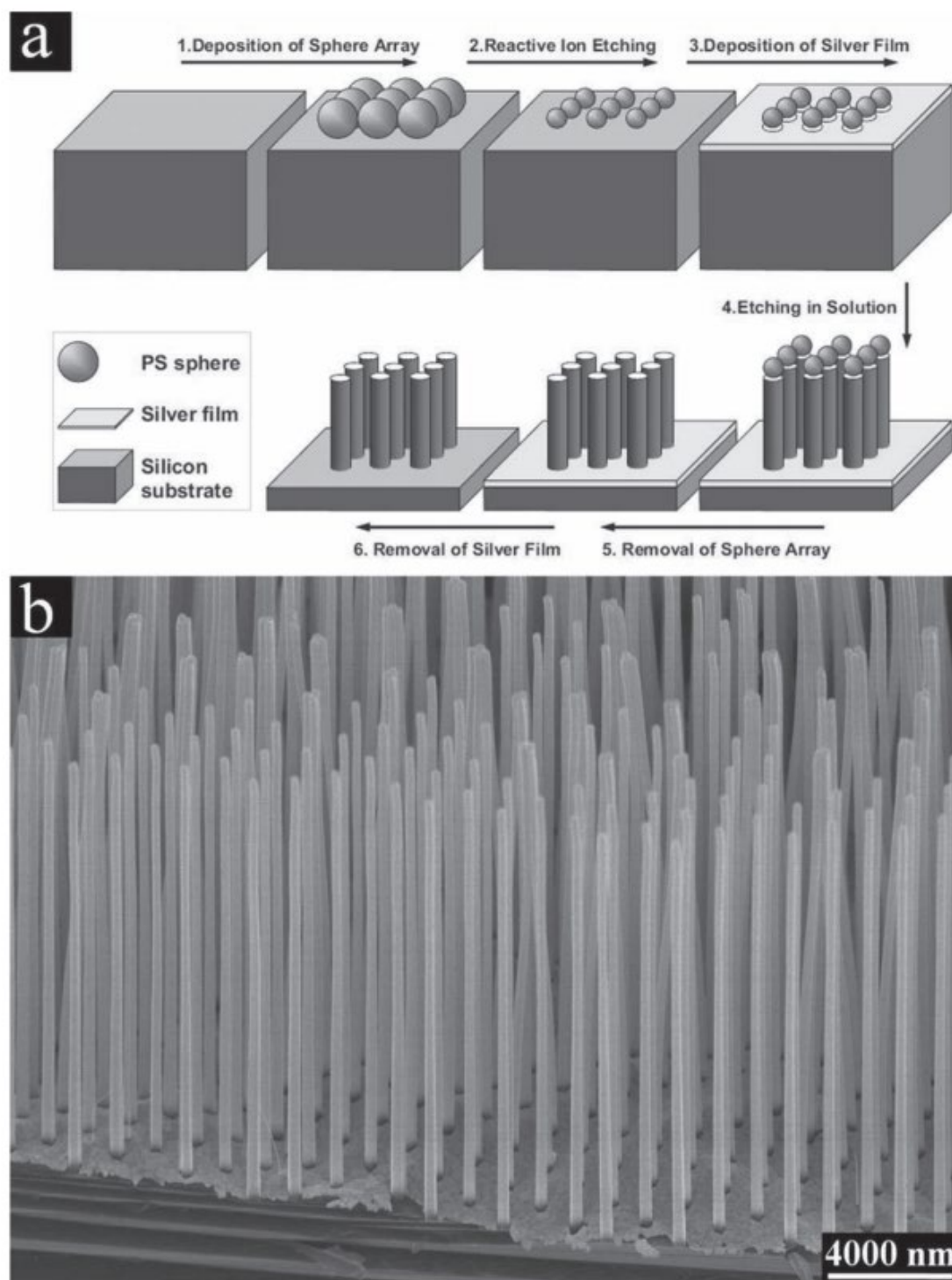


Рис.5. а) Схема, що показує процеси в методі, що поєднує літографію наносфери і хімічне травлення за допомогою металу. б) Типовий знімок, зроблений за допомогою КЕМ з висоти пташиного польоту з використанням нанопроволочної сітки Si, виконаний методом, що поєднує наносферну літографію та металічне хімічне травлення.[18]

Розділ 3

Фотоелектрохімічні властивості меланіну

Меланін збирає енергію від низькоенергетичних джерел випромінювання, переводить електрони в збуджений стан, ініціюючи процес, в результаті якого виробляється хімічна енергія, подібно до того, як фотосинтез постачає рослини енергією. Точна роль меланіну в цьому процесі невідома. Збільшення електронно-передавальних властивостей меланіну не залежить від енергії падаючих фотонів. В контрольованих аналізах *in vivo* було виявлено, що меланін має чудову здатність перетворювати низькоенергетичне випромінювання в більш корисну форму енергії. Крім того, було виявлено, що меланін може розщеплювати молекули води і відмовлятися від енергії, що вказує на додатковий режим роботи меланіну. Меланін управляє енергією фотонів низькоенергетичних джерел випромінювання, гасячи електрони і ініціюючи іонну подію незалежно від їх відносного енергетичного стану. В майбутньому може бути перевірена індивідуальна і комбінована дія кількох фотоелектричних застосувань, включаючи провідні полімери, наприклад, похідні полімерів (феніленевінілол) (PPV) або C60 частинки. Крім того, здатність меланіну перетворювати енергію є основною метою розвитку перетворення сонячної енергії, і органічно-напівпровідниковий спосіб фотоелектрохімічного застосування матиме велике значення для таких розробок.

Строго кажучи, термін "меланін" включає в себе як хромофор, так і супутній білок. Однак використання цього терміна стає нормою, коли мова йде тільки про хромофор (номінально функціональну частину).

Переважна більшість досліджень на природній системі видаляє (або ігнорує) білок, і всі дослідження про синтетичний меланін зачіпають тільки хромофор. На жаль, сам хромофор мало розчиняється в більшості поширених розчинників. Переважною стратегією в цій області є вивчення фотохімічних і фотофізичних властивостей ізольованих природних моделей або синтетичних аналогів без використання будь-якої послідовної структурної моделі.

Оскільки природний фотозахист забезпечується поглинанням ультрафіолетового світла меланіном, спектр поглинання меланіну представляє собою великий інтерес. На рисунку 6 показані порівняльні спектри поглинання прекурсорів меланіну, запропоновані Кохом і Чедекелем. Слід мати на увазі, що меланіни ні в якому разі не є інертними. Вони постійно реагують на вражаючі фотони. Фоторозклад (також званий фотолізом) і / або окислювальна полімеризація може статися, як тільки меланін поглине фотони. На рисунку 7 показано, що відбувається з попередником меланіну DHI в присутності тирозинази, що відображено в спектрі її поглинання. Остаточний спектр поглинання - це спектр полімеру, основні піки поглинання якого зникли. Спектр поглинання DHI в присутності тирозинази, навпаки, не змінюється з часом (дані не показані). У решті випадків застосовуються пероксидаза і тирозиназа, які потім беруть участь в процесі полімеризації меланіну, в той час як єдина тирозиназа бере участь в процесі утворення попередників меланіну. Під впливом світла меланіни або розкладаються, фотоіонізуються, або виробляють вільні радикали (фотогомоліз). Для деяких з цих явищ (наприклад, виробництво супероксида з феомеланіну) був встановлений спектр фотохімічної події. [19]

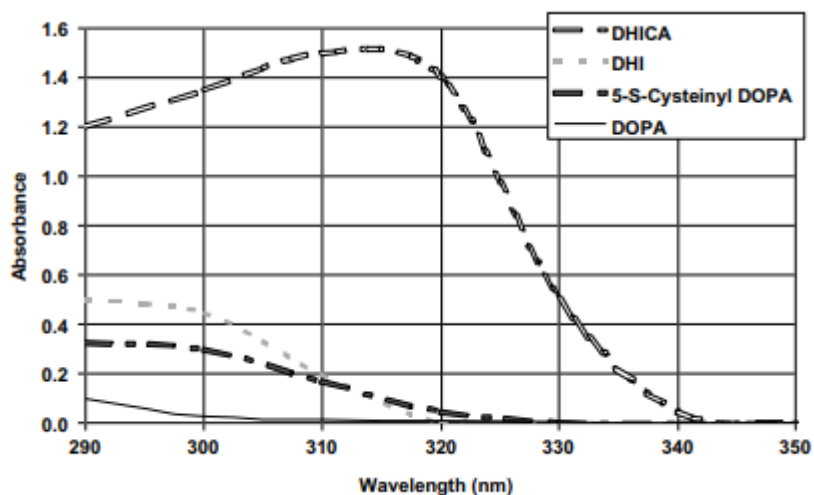


Рис.6. Спектри поглинання ультрафіолетових променів попередників меланіну. Всі катехоли містили 0,1 мм в 10 мм фосфатному буфері, рН 6,8. Зверніть увагу, що спектральний діапазон не перевищує 350 нм.[19]

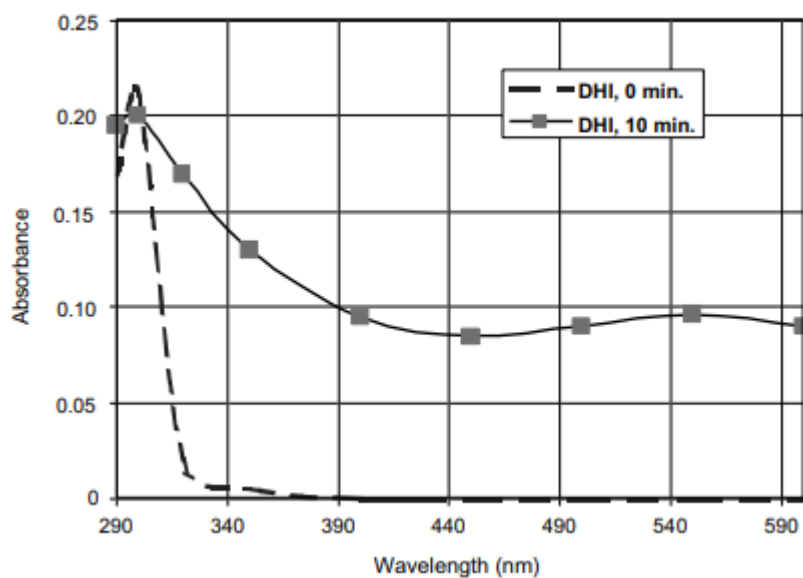


Рис.7. Спектрофотометричний хід окислення DHI тирозиназою. DHI інкубували з тирозиназою ($2,7 \text{ мВ мл}^{-2}$) у фосфатному буфері $0,025 \text{ моль л}^{-1}$ (рН 6,8).[19]

Розділ 4

Експериментальна частина

Основним завданням під час експериментальної частини було отримання пористого кремнію для подальшого нанесення на його поверхню плівки оксиду індію олова та плівки водорозчинного меланіну.

1. Очистка пластин.

Розчин з 20% розчину аміаку (200 мл), перекису водороду (100мл) та води (загальний об'єм 1400 мл рідини) при 100° С 15 хв.

2. Створення пористого кремнію в двостадійному процесі.

1 стадія: осадження наночастинок Ag.

Розчин 1: HF(4,8%) : AgNO₃ (0,005%) : H₂O₂ (0,3%) : H₂O (10,686 мл 4,8%-ого розчину плавикової кислоти, 0,0425 г 0,005%-ого нітрату срібла, 1,214 мл 0,3% перекису водороду та 38,100 мл води), загальна ємність 50 мл; час витримки 10-15 с.

2 стадія: створення пористого шару.

Розчин 2: HF(4,8%) : H₂O₂ (0,3%) : H₂O (10,686 мл 4,8%-ого розчину плавикової кислоти, 1,214 мл 0,3% перекису водороду та 38,100 мл води), загальна ємність 50 мл; час витримки 30, 40, 60 хвилин.

3. Видалення шару срібла в розчині азотної кислоти 8 годин.

4. Очистка пластин.

Розчин з 20% розчину аміаку (200 мл), перекису водороду (100мл) та води (загальний об'єм 1400 мл рідини) при 100° С 15 хв.

5. Нанесення меланіну.

5 хвилин витримки в розчині та 15 хвилин процес сушки при 60°С.

6. Нанесення шару ІТО.

7. Нанесення срібних контактів.

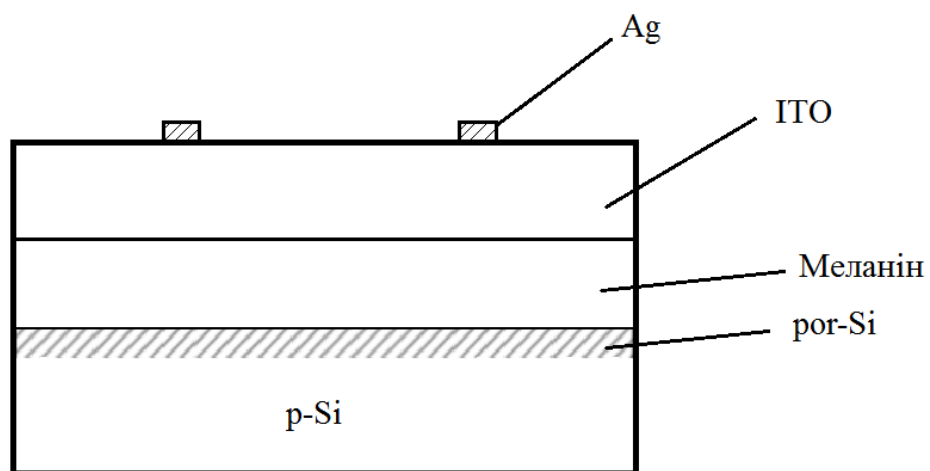


Рисунок 8. Структура датчику

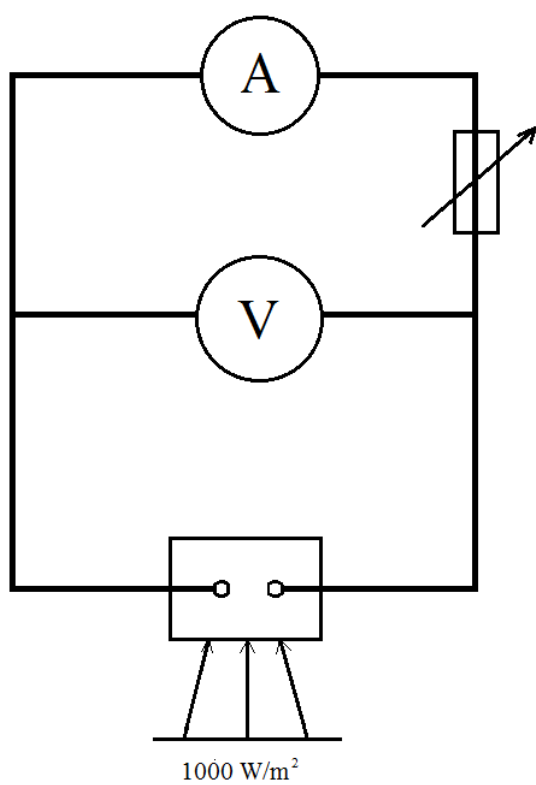


Рисунок 9. Схема вимірювання

Информация			
Напряжение (кВ): 20.00			
Сумма %: 100.00			
Элемент		Инт.	C %
Si	K	5436	84.91
In	L	211	13.02
In	M	-2	0.00
Sn	L	46	2.07
Sn	M	0	0.00
Au	L	-1	0.00
Au	M	-1	0.00

Рисунок 10. Хімічний склад поверхні

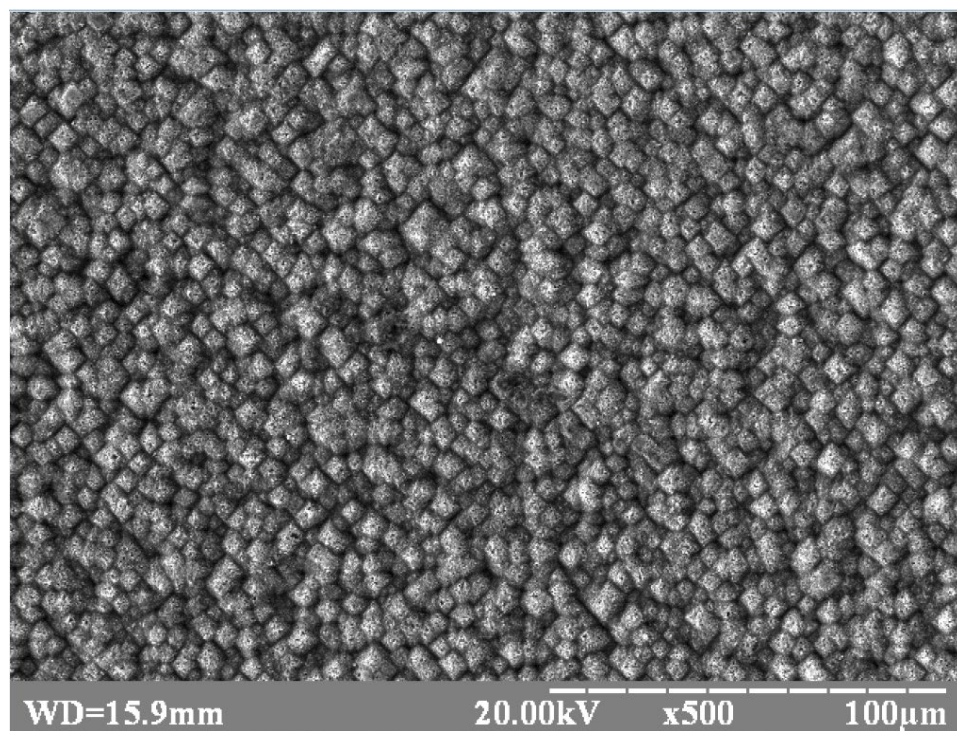


Рисунок 11. РЕМ на 100мкм

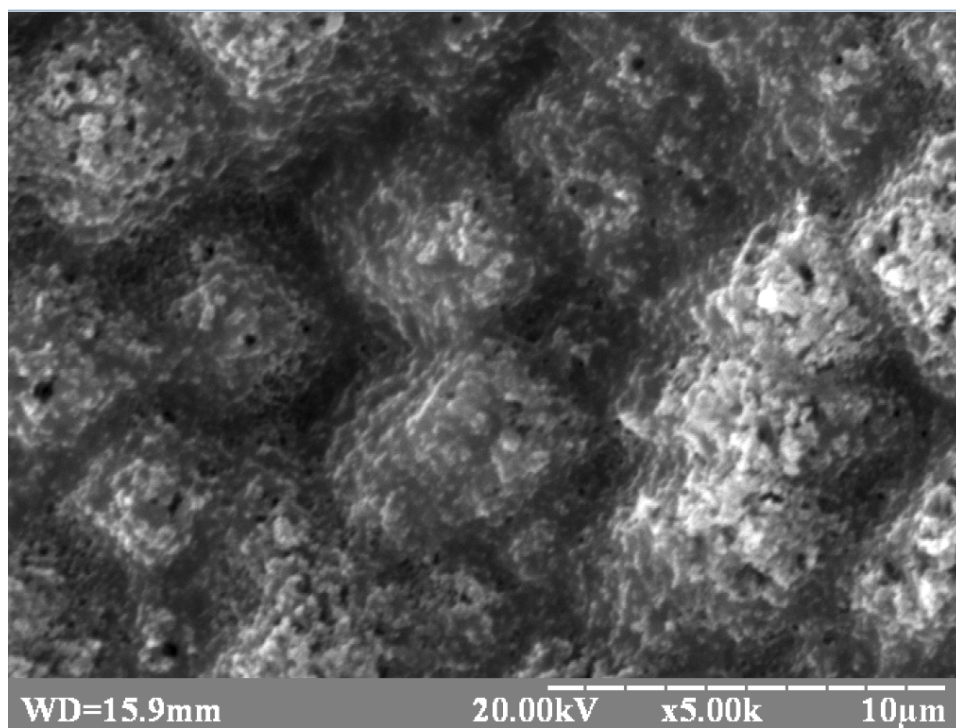


Рисунок 12. РЕМ на 10мкм

Розрахунки:

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
19	17,7	336,3
17,1	18,1	309,51
15,2	17,4	264,48
13,3	17,1	227,43
11,4	17,3	197,22
9,5	17,9	170,05
7,6	18,5	140,6
5,7	19,2	109,44
3,8	19,1	72,58
1,9	20	38

Таблиця 1. Зразок 15-60 КСД (19 мкА, 28,2 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
18,4	22,1	406,64
16,56	22,5	372,6
14,72	23	338,56
12,88	23,5	302,68
11,04	24	264,96
9,2	24,4	224,48
7,36	25	184
5,52	25,4	140,208
3,68	25,8	94,944
1,84	26,4	48,576

Таблиця 2. Зразок 10-60 КДБ (18,4 мкА, 27,3 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
25	25,4	635
22,5	26	585
20	26,3	526
17,5	26,9	470,75
15	27,4	411
12,5	28	350
10	28,7	287
7,5	29,1	218,25
5	29,1	145,5
2,5	29,7	74,25

Таблиця 3. Зразок 10-60 КДБ (25 мкА, 33 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
16,8	17,2	288,96
15,08	17,6	265,408
13,4	17,5	234,5
11,72	18,3	214,476
10,08	18,5	186,48
8,4	18,9	158,76
6,72	19,3	129,696
5,04	19,7	99,288
3,36	20	67,2
1,68	20,3	34,104

Таблиця 4. Зразок 10-40 КДБ (16,8 мкА, 20,8 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
10	10	100
9	9,5	85,5
8	9,6	76,8
7	9,8	68,6
6	9,9	59,4
5	10	50
4	10,1	40,4
3	10,2	30,6
2	10,4	20,8
1	10,5	10,5

Таблиця 5. Зразок 15-60 КСД (10 мкА, 11,3 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
15,05	14,09	212,0545
13,5	15,1	203,85
12	15,1	181,2
10,5	15,7	164,85
9	16	144
7,5	16,3	122,25
6	16,6	99,6
4,5	16,8	75,6
3	17,2	51,6
1,5	17,6	26,4

Таблиця 6. Зразок 15-40 КДБ (15,05 мкА, 18,3 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
9	9	81
8,1	8,5	68,85
7,2	8,6	61,92
6,3	8,7	54,81
5,4	8,8	47,52
4,5	8,9	40,05
3,6	9	32,4
2,7	9,1	24,57
1,8	9,2	16,56
0,9	9,2	8,28

Таблиця 7. Зразок 15-40 КСД (9 мкА, 9,9 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
10,4	10,3	107,12
9,36	10,4	97,344
8,32	10,5	87,36
7,28	10,6	77,168
6,24	10,7	66,768
5,2	10,9	56,68
4,16	11	45,76
3,12	11,2	34,944
2,08	11,3	23,504
1,04	11,4	11,856

Таблиця 8. Зразок 15-30 КСД (10,4 мкА, 11,8 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Ух.х.(мВ)	Р(нВт)
22,1	22,2	490,62
19,8	22,6	447,48
17,6	23	404,8
15,4	23,5	361,9
13,2	23,7	312,84
11	24	264
8,8	24,4	214,72
6,6	24,7	163,02
4,4	25,1	110,44
2,2	25,4	55,88

Таблиця 9. Зразок 15-30 КДБ (22 мкА, 25,2 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Ух.х.(мВ)	Р(нВт)
9,5	9,4	89,3
9	9,5	85,5
8	9,6	76,8
7	9,7	67,9
6	9,8	58,8
5	9,9	49,5
4	10	40
3	10,1	30,3
2	10,2	20,4
1	10,3	10,3

Таблиця 10. Зразок 15-40 КДБ (9,5 мкА, 10,5 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Ух.х.(мВ)	Р(нВт)
24,6	31,3	769,98
21,4	29,1	622,74
19,2	29,1	558,72
16,8	29,1	488,88
14,4	29	417,6
12	29,1	349,2
9,6	29,3	281,28
7,2	29,4	211,68
4,8	29	139,2
2,4	29,1	69,84

Таблиця 11. Зразок 10-30 КСД (27 мкА, 40 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
11	11,7	128,7
9,9	11,5	113,85
8,8	11,6	102,08
7,7	11,7	90,09
6,6	11,8	77,88
5,5	11,7	64,35
4,4	11,8	51,92
3,3	11,9	39,27
2,2	11,9	26,18
1,1	12,1	13,31

Таблиця 12. Зразок 10-60 КСД (11,3 мкА, 14,2 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
12	13	156
10,8	12,9	139,32
9,6	13	124,8
8,4	13,1	110,04
7,2	13,1	94,32
6	13,3	79,8
4,8	13,5	64,8
3,6	13,6	48,96
2,4	13,7	32,88
1,2	13,8	16,56

Таблиця 13. Зразок 15-30 КДБ (12 мкА, 15,4 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
9,5	9,5	90,25
8	9,3	74,4
7	9,4	65,8
6	9,4	56,4
5	9,5	47,5
4	9,6	38,4
3	9,6	28,8
2	9,7	19,4
1	9,7	9,7

Таблиця 14. Зразок 10-40 КДБ (9,5 мкА, 10,5 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
10	10	100
9	10	90
8	10,1	80,8
7	10,2	71,4
6	10,3	61,8
5	10,4	52
4	10,6	42,4
3	10,7	32,1
2	10,8	21,6
1	10,9	10,9

Таблиця 15. Зразок 15-30 КСД (10,2 мкА, 11,8 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
14	14	196
12,6	14,2	178,92
11,2	14,7	164,64
9,8	15,1	147,98
8,4	15,6	131,04
7	15	105
5,6	15,1	84,56
4,2	15,3	64,26
2,8	15,5	43,4
1,4	15,6	21,84

Таблиця 16. Зразок 10-30 КСД (14 мкА, 19 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
10,3	10,3	106,09
9	9,6	86,4
8	9,6	76,8
7	9,2	64,4
6	9,4	56,4
5	9,6	48
4	9,9	39,6
3	10,1	30,3
2	10,4	20,8
1	10,6	10,6

Таблиця 17. Зразок 15-40 КСД (10,3 мкА, 12,3 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
7,6	7,6	57,76
6,75	7,7	51,975
6	7,8	46,8
5,25	7,9	41,475
4,5	8	36
3,75	8,1	30,375
3	8,2	24,6
2,25	8,3	18,675
1,5	8,3	12,45
0,75	8,4	6,3

Таблиця 18. Зразок 10-60 КСД (7,6 мкА, 8,5 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

Ік.з.(мкА)	Uх.х.(мВ)	P(нВт)
28	28	784
25,2	27	680,4
22,4	27,6	618,24
19,6	27,9	546,84
16,8	28,5	478,8
14	29	406
11,2	29,4	329,28
8,4	29,8	250,32
5,6	30,1	168,56
2,8	30,6	85,68

Таблиця 19. Зразок 10-40 КСД (28 мкА, 32,5 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

10-60 КДБ (10 мкА, 12,2 мВ)		
10	10,5	105
9	10,6	
8	10,5	
7	10,6	
6	10,7	
5	10,8	
4	10,9	
3	11	
2	11,2	
1	11,3	

Таблиця 20. Зразок 10-60 КДБ (10 мкА, 12,2 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

10-60 КДБ (17,5 мкА, 26 мВ)		
17	20,5	348,5
15,4	20,8	
13,7	21,3	
11,9	21,8	
10,2	22,3	
8,5	22,8	
6,8	23,2	
5,1	23,6	
3,4	24,1	
1,7	24,5	

Таблиця 21. Зразок 10-60 КДБ (17 мкА, 26 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

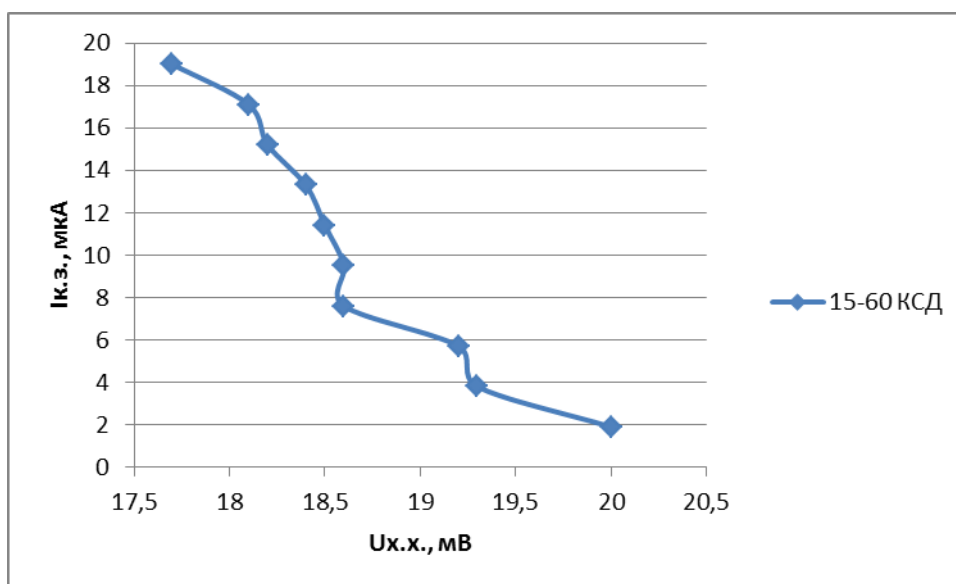
10-40 КДБ(8,2 мкА, 10,6 мВ)		
8,2	8,5	69,7
7,2	9	
6,4	9,3	
5,6	9,4	
4,8	9,6	
4	9,8	
3,2	9,9	
2,4	10,1	
1,6	10,2	
0,8	10,4	

Таблиця 22. Зразок 10-40 КДБ (8,2 мкА, 10,6 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

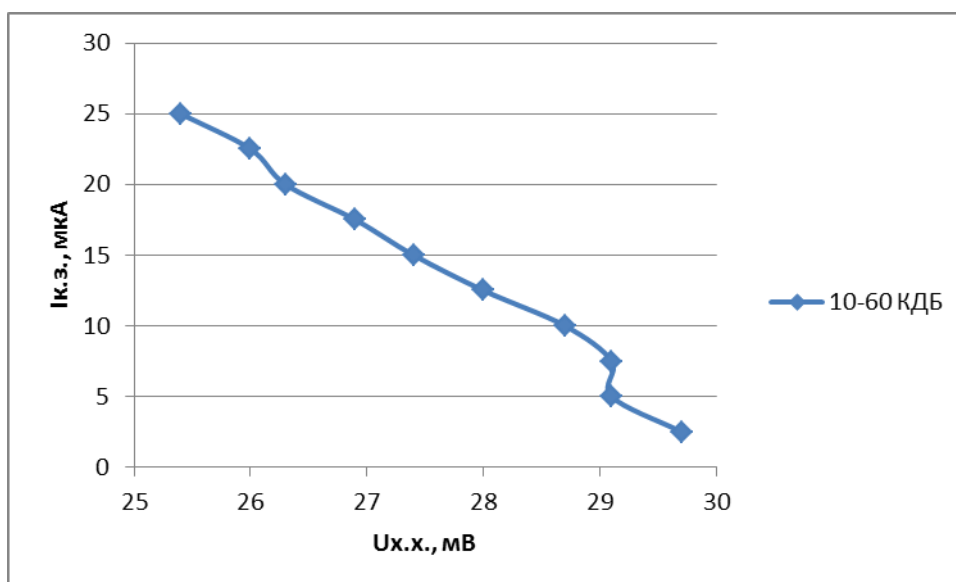
10-40 КДБ(14,3мкА, 20,6 мВ)		
14,3	17	243,1
12,6	17,4	
11,2	17,7	
9,8	18,1	
8,4	18,4	
7	18,8	
5,6	19,1	
4,2	19,5	
2,8	19,9	
1,4	20,2	

Таблиця 23. Зразок 10-40 КДБ (14,3 мкА, 20,6 мВ). Значення в дужках – струм короткого замикання та напруга холостого ходу відповідно.

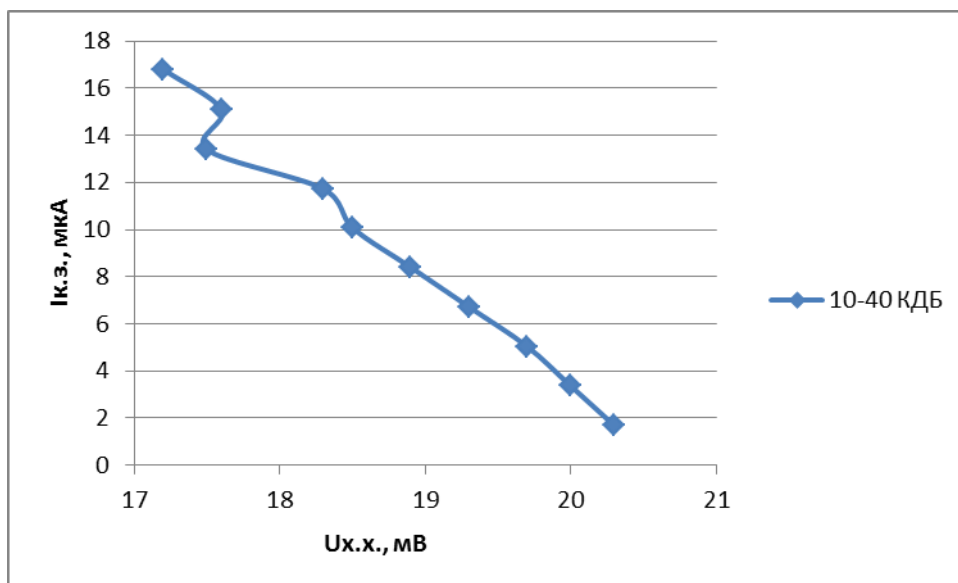
Побудовані вольт-амперні характеристики кожного зразку:



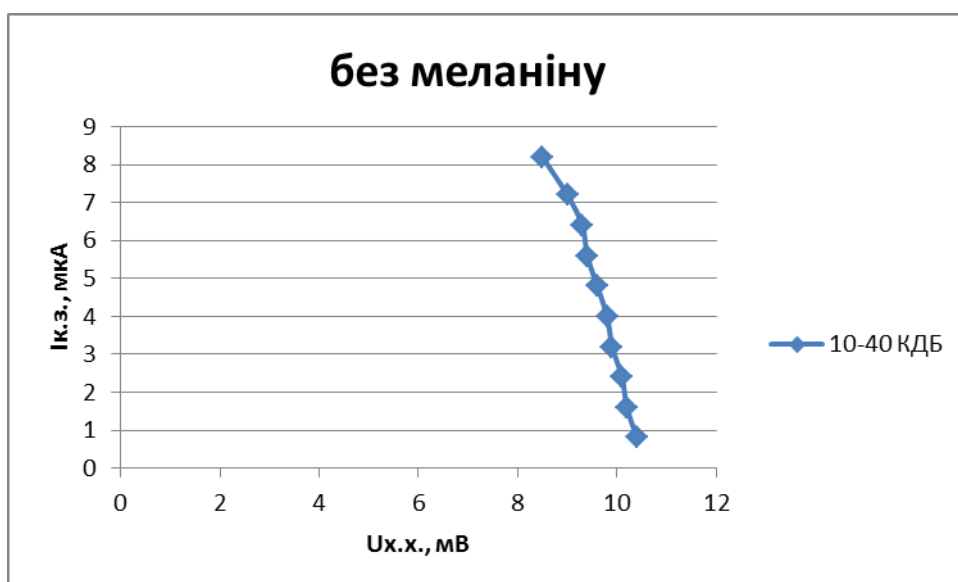
Графік 1. ВАХ зразку 15-60 КСД (19 мкА, 28,2 мВ).



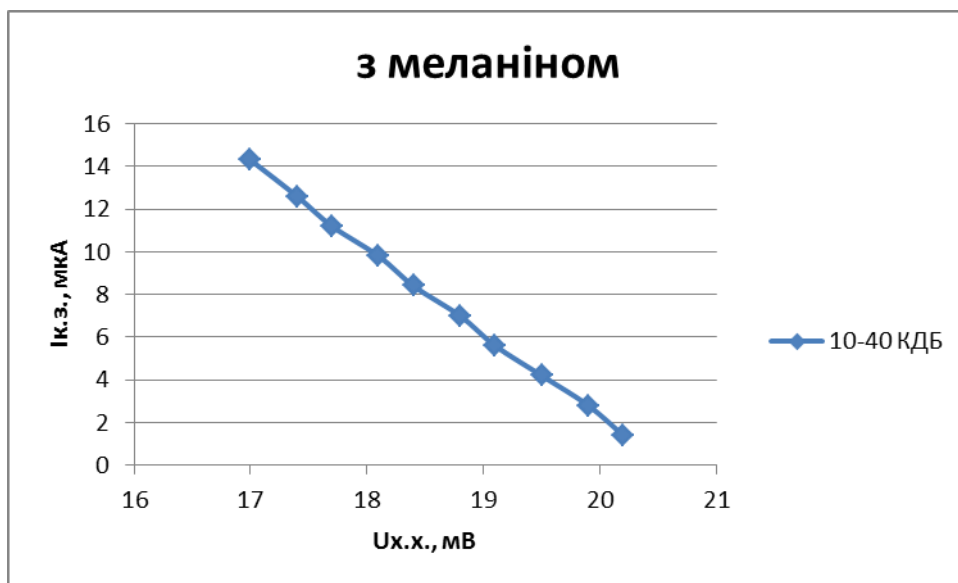
Графік 2. ВАХ зразку 10-60 КДБ (18,4 мкА, 27,3 мВ).



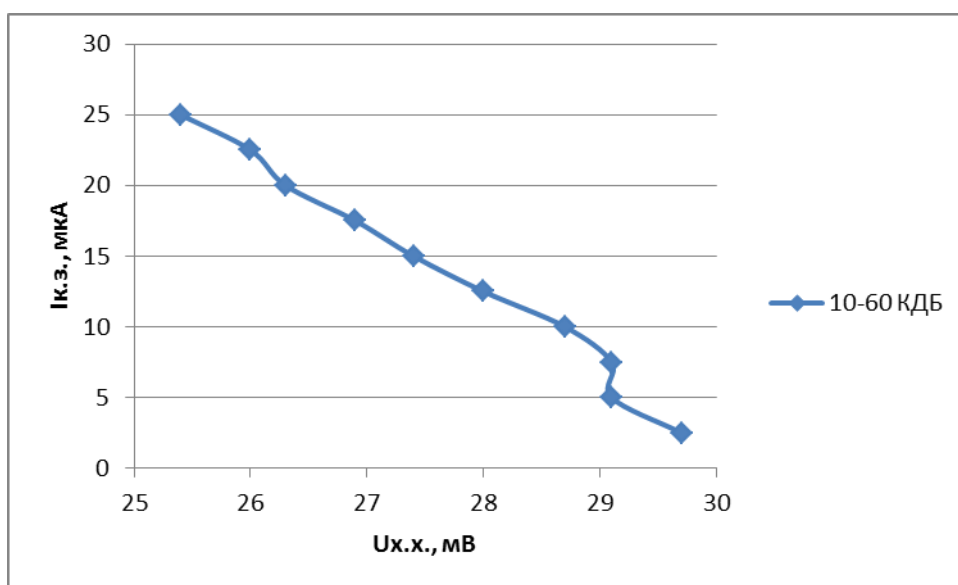
Графік 3. ВАХ зразку 10-40 КДБ (16,8 мкА, 20,8 мВ).



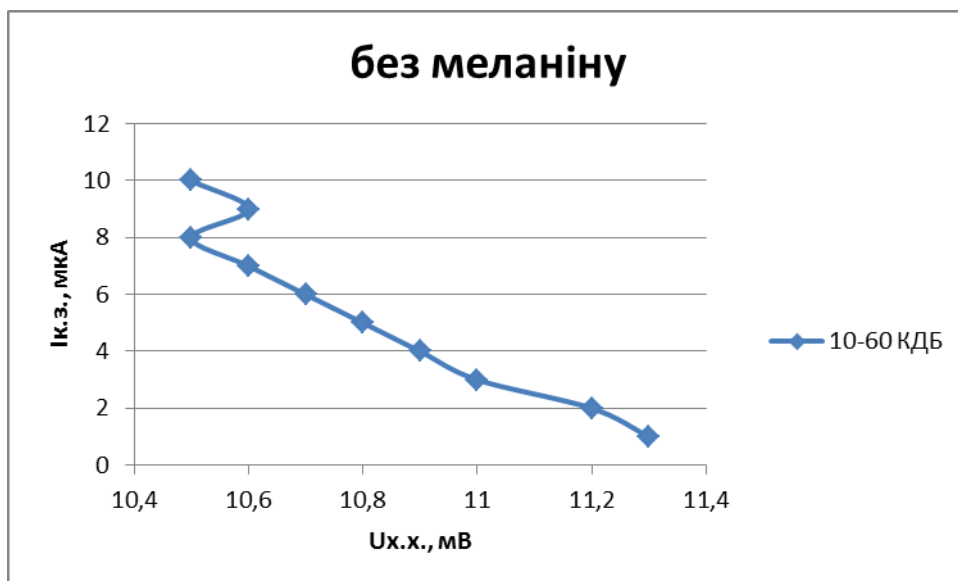
Графік 4. ВАХ зразку 10-40 КДБ (8,2 мкА, 10,6 мВ) без меланіну.



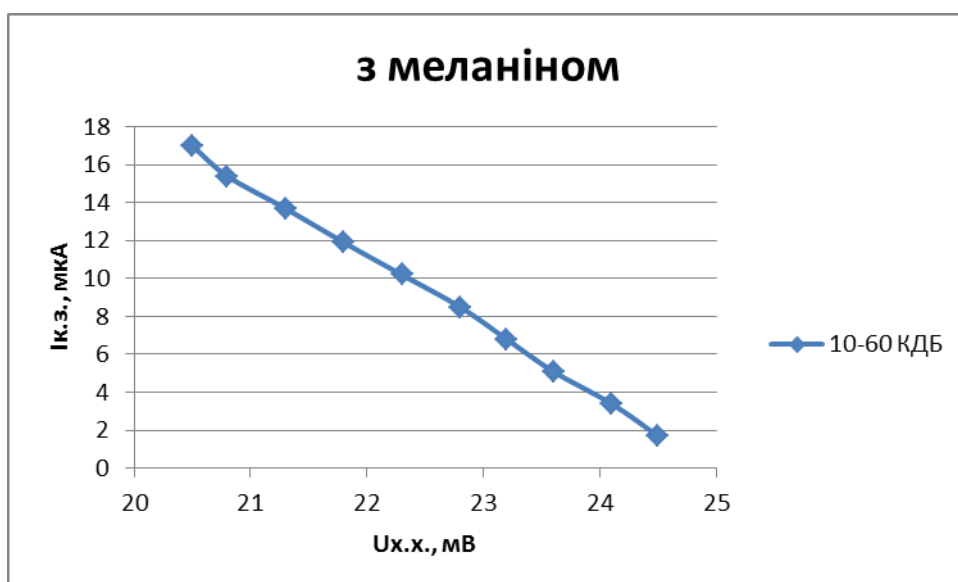
Графік 5. ВАХ зразку 10-40 КДБ (14,3 мкА, 20,6 мВ) з меланіном.



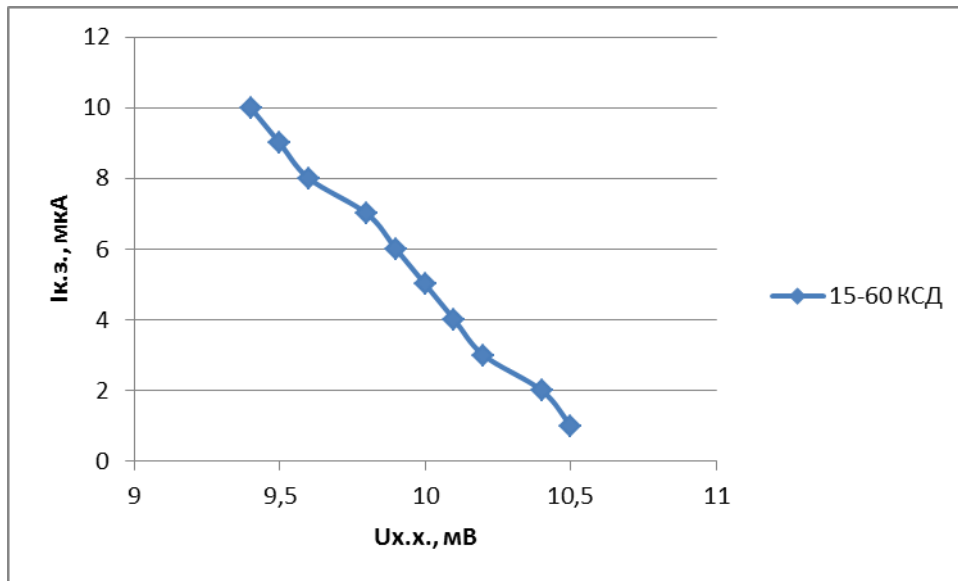
Графік 6. ВАХ зразку 10-60 КДБ (25 мкА, 33 мВ).



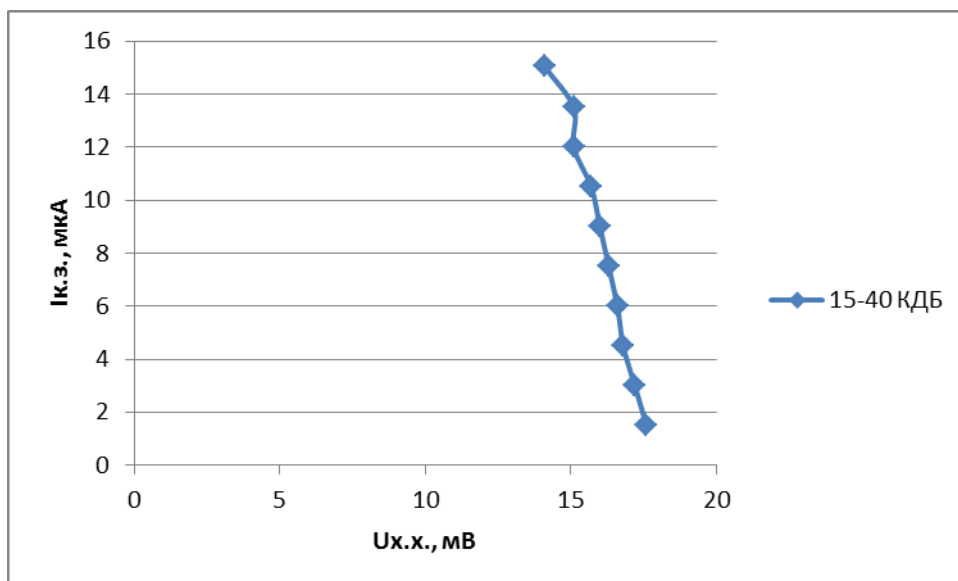
Графік 7. ВАХ зразку 10-60 КДБ (10 мкА, 12,2 мВ) без меланіну.



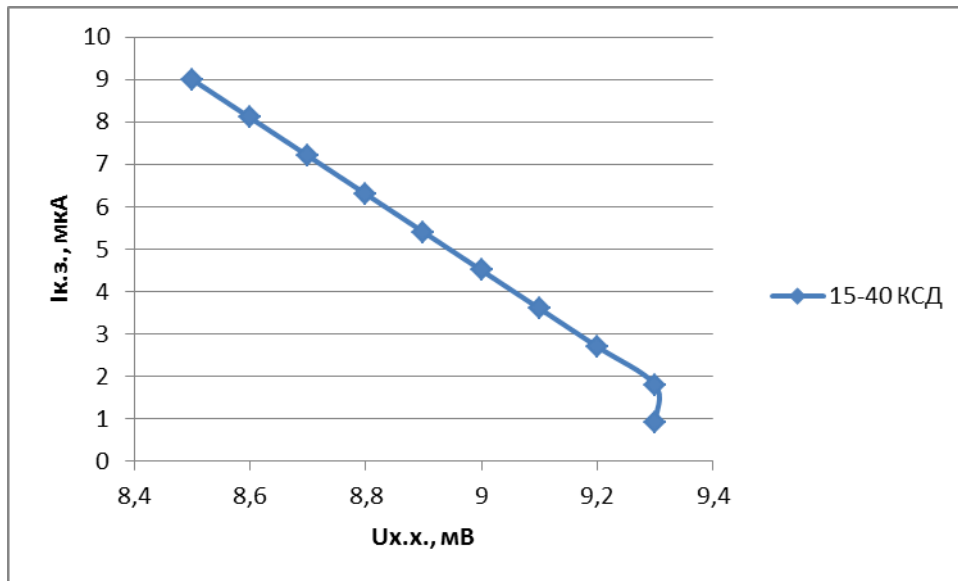
Графік 8. ВАХ зразку 10-60 КДБ (17,5 мкА, 26 мВ) з меланіном.



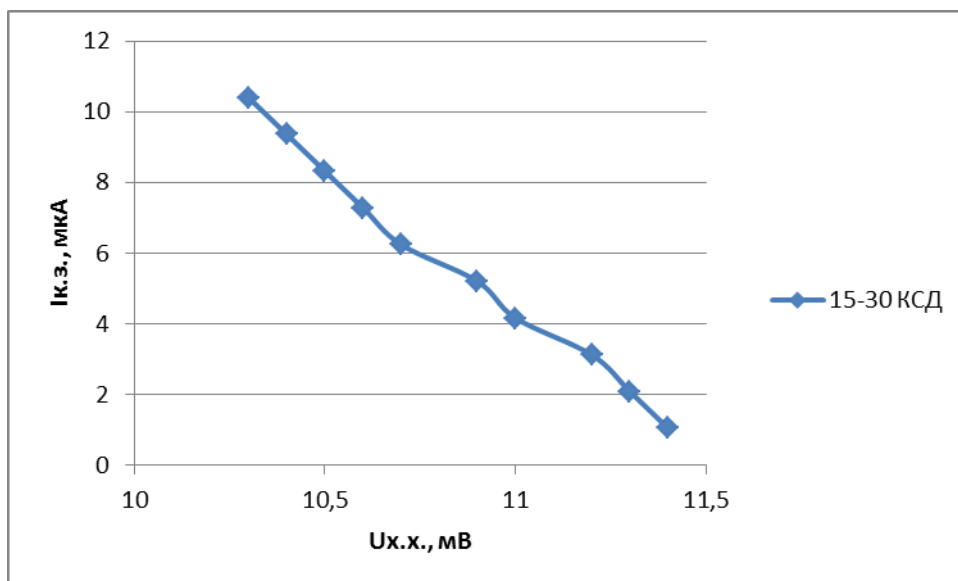
Графік 9. ВАХ зразку 15-60 КСД (10 мкА, 11,3 мВ).



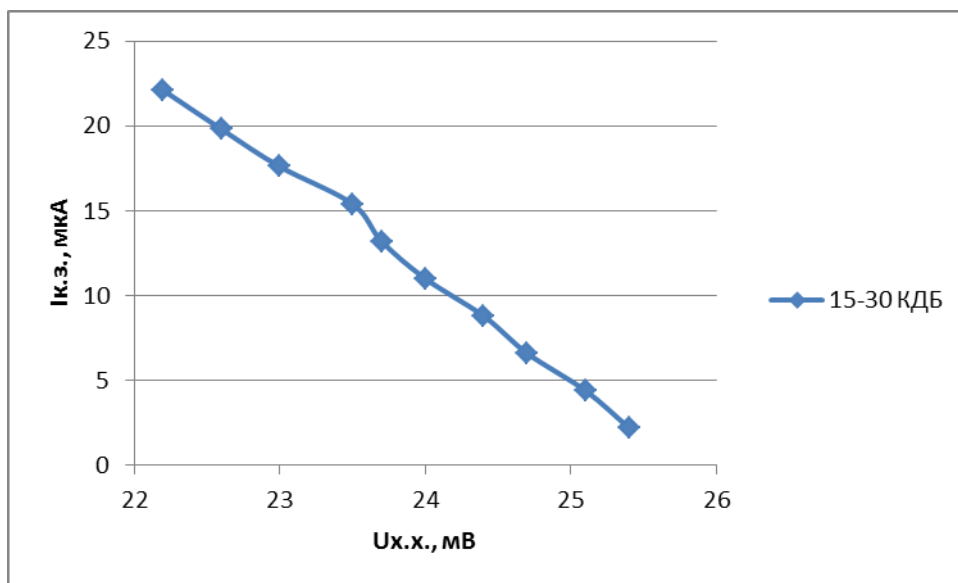
Графік 10. ВАХ зразку 15-40 КДБ (15,05 мкА, 18,3 мВ).



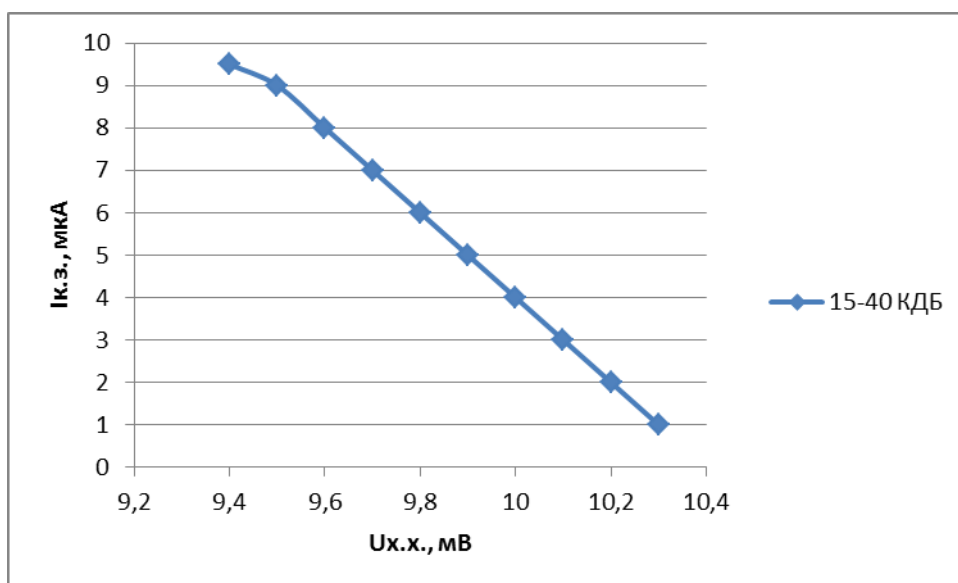
Графік 11. ВАХ зразку 15-40 КСД (9 мкА, 9,9 мВ).



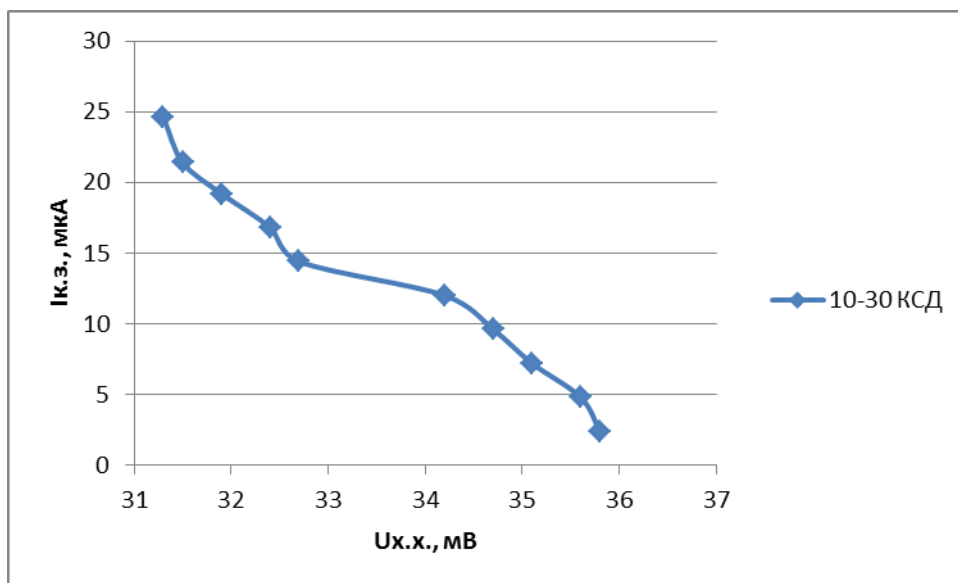
Графік 12. ВАХ зразку 15-30 КСД (10,4 мкА, 11,8 мВ).



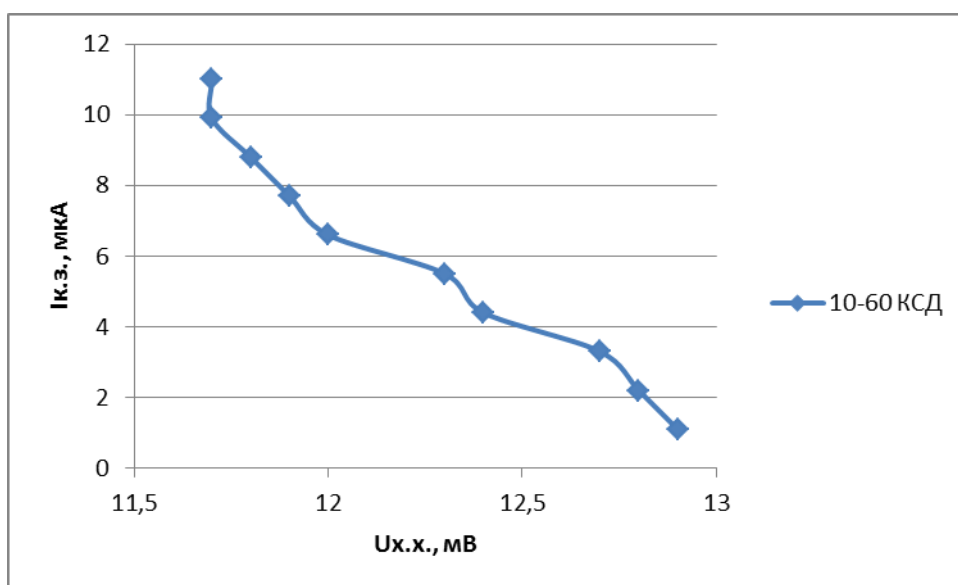
Графік 13. ВАХ зразку 15-30 КДБ (22 мкА, 25,2 мВ).



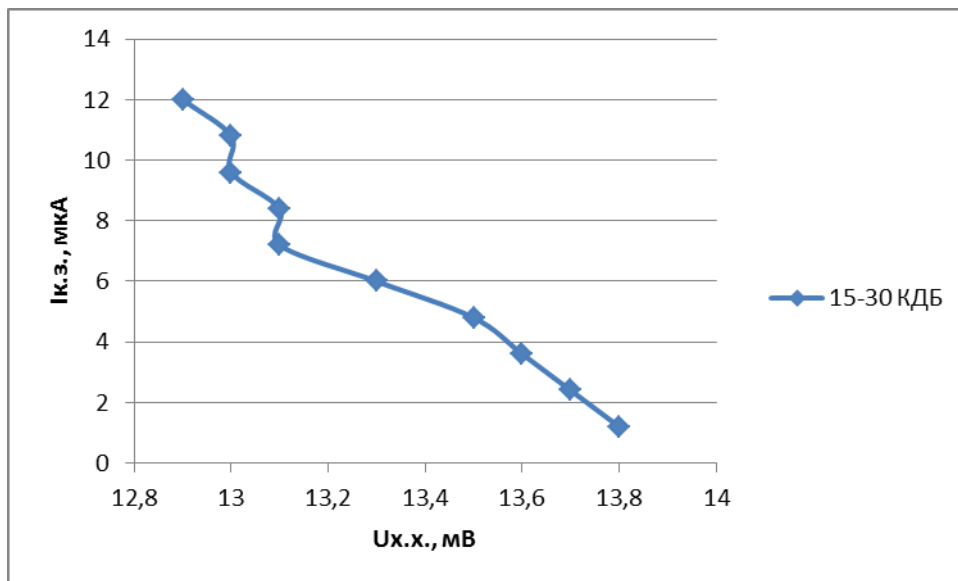
Графік 14. ВАХ зразку 15-40 КДБ (9,5 мкА, 10,5 мВ).



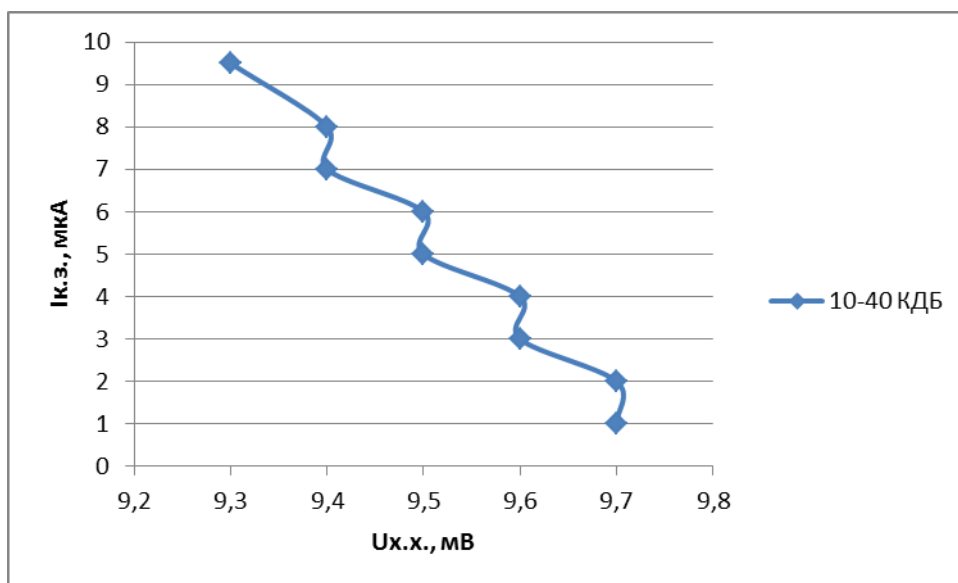
Графік 15. ВАХ зразку 10-30 КСД (27 мкА, 40 мВ).



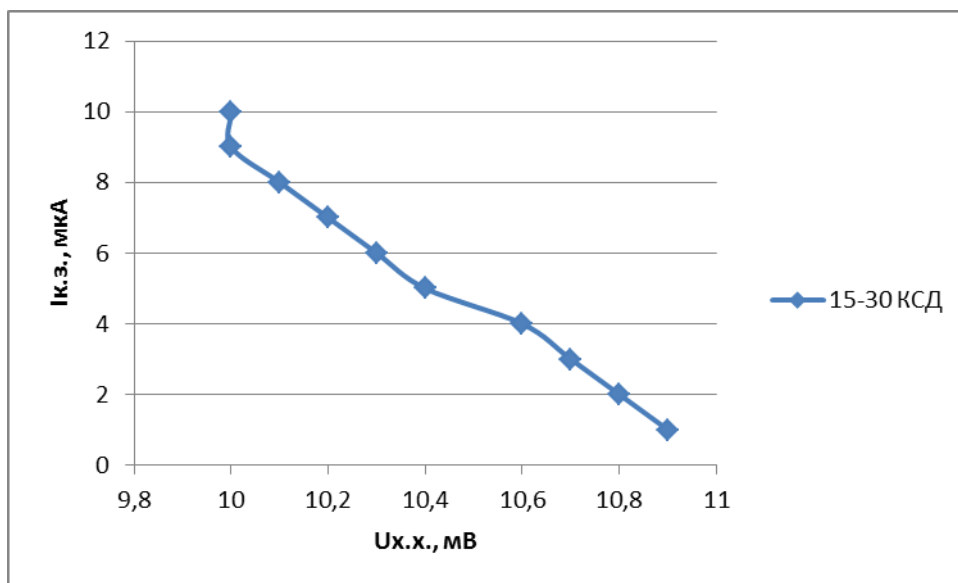
Графік 16. ВАХ зразку 10-60 КСД (11,3 мкА, 14,2 мВ).



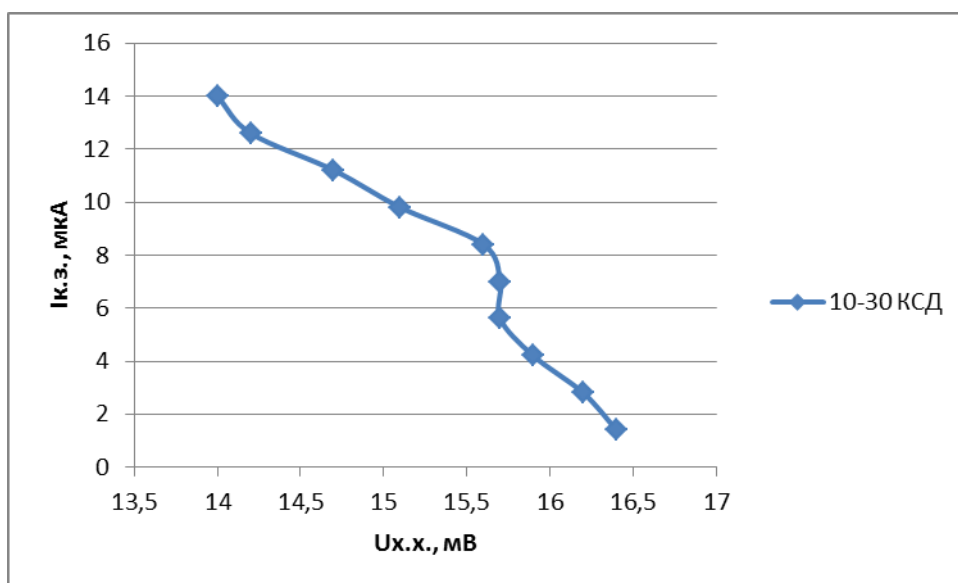
Графік 17. ВАХ зразку 15-30 КДБ (12 мкА, 15,4 мВ).



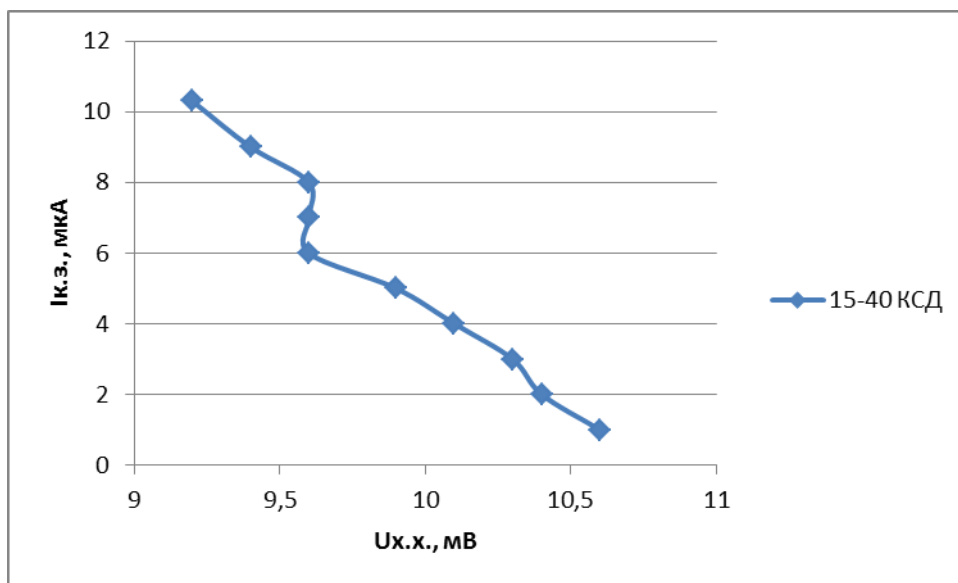
Графік 18. ВАХ зразку 10-40 КДБ (9,5 мкА, 10,5 мВ).



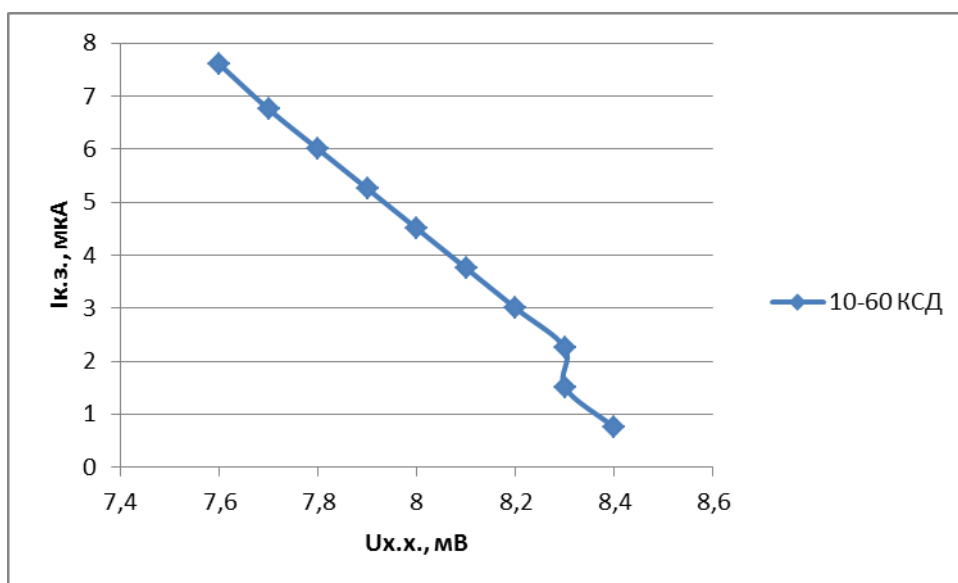
Графік 19. ВАХ зразку 15-30 КСД (10,2 мкА, 11,8 мВ).



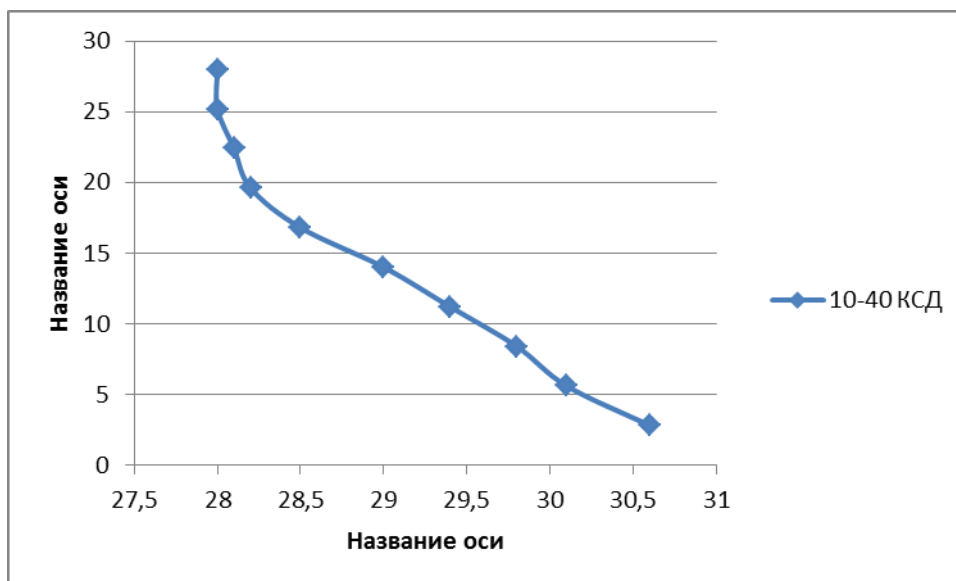
Графік 20. ВАХ зразку 10-30 КСД (14 мкА, 19 мВ).



Графік 21. ВАХ зразку 15-40 КСД (10,3 мкА, 12,3 мВ).



Графік 22. ВАХ зразку 10-60 КСД (7,6 мкА, 8,5 мВ).



Графік 23. ВАХ зразку 10-40 КСД (28 мкА, 32,5 мВ).

Розрахунки значень FF та η .

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{1000 \text{ W/m}^2 \cdot S}$$

Тип зразку	FF	η	Ік.з., мкА	Uх.х., мВ
10-30 КСД	0,71	0,034%	27	40
10-30 КСД	0,74	0,008%	14	19
10-40 КСД	0,86	0,028%	28	32,5
10-60 КСД	0,89	0,002%	7,6	8,5
10-60 КСД	0,8	0,005%	11,3	14,2
15-30 КСД	0,83	0,003%	10,2	11,8
15-30 КСД	0,87	0,003%	10,4	11,8
15-40 КСД	0,91	0,002%	9	9,9
15-40 КСД	0,84	0,004%	10,3	12,3
15-60 КСД	0,628	0,017%	19	28,2
15-60 КСД	0,885	0,003%	10	11,3
10-40 КДБ	0,827	0,011%	16,8	20,8
без меланіну	0,8	0,002%	8,2	10,6
з меланіном	0,825	0,007%	14,3	20,6

10-40 КДБ	0,9	0,003%	9,5	10,5
10-60 КДБ	0,8	0,015%	18,4	27,3
10-60 КДБ	0,77	0,026%	25	33
без меланіну	0,86	0,003%	10	12,2
з меланіном	0,76	0,014	17,5	26
15-30 КДБ	0,885	0,017%	22	25,2
15-30 КДБ	0,84	0,005%	12	15,4
15-40 КДБ	0,77	0,008%	15,05	18,3
15-40 КДБ	0,9	0,003%	9,5	10,5

Таблиця 24. Значення філ-факторів, коефіцієнтів корисної дії, струмів короткого замикання та напруг холостого ходу відповідних зразків відповідно.

Висновки

1. В роботі була продемонстрована принципова можливість створення фотоелектричних перетворювачів на гібридних органічних-неорганічних структурах p-Si/por-Si/меланін. Відповідно до своєї функції в живій природі меланін дуже ефективно поглинає та перетворює сонячне випромінювання, особливо ультрафіолетову частину спектру. При порівнянні структур з меланіном і без було помічено що шар меланіну збільшує в середньому у 2 рази напругу холостого ходу та струм короткого замикання структури

2. За допомогою растрової електронної мікроскопії було проведено дослідження поверхні та показано, що створення пористого шару призводить до утворення розгалуженої системи видовжених нанорозмірних пор.

3. Було проведено дослідження впливу параметрів отримання пористого шару на ефективність ФЕП. Можна відмітити що найкращі результати були отримані для структур які мають більш тонкий пористий шар (час травлення 30-40 хв), що пов'язано найімовірніше з ростом опору пористого шару при подальшому збільшенні часу травлення.

Список використаної літератури

1. <https://nip.gov.ua/projects/mls-si>
2. Spitzer, M., Schewchun, J., Vera, E.S. and Lofersky, J.J., 1980. Proc. 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., San Diego, p. 375.
3. Reif, R., 1984. J. Electrochem. Soc., Vol. 131, p. 2430.
4. Nishida, S., Nakagawa, K., Iwane, M., Iwasaki, Y., Ukiyo, N., Mizutani, M. and Shoji, T., 2001. Si-film growth using liquid phase epitaxy method and its application to thin-film crystalline Si solar cell. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, Vol. 65, p. 525.
5. Meier, J., Flueckiger, R., Keppner, H. and Shah, A., 1994. Complete microcrystalline p-i-n solar cell - Crystalline or amorphous cell behavior? Appl. Phys. Lett., Vol. 65, p. 860.
6. Yamamoto, K., Nakajima, A., Suzuki, T., Yoshimi, M., Nishio, H. and Izumina, M., 1994. Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, p. L1751.
7. Werner, J. and Bergmann, R., 1999. Technical Digest 12th Int. Photovoltaic Science and Engineering Conf., Sapporo, p. 2041.
8. Kondo, M., Fukawa, M., Guo, L. and Matsuda, A., 2000. J. Non-Cryst. Solids, Vol. 84, pp. 226-269.
9. Yamamoto, K., Yoshimi, M., Suzuki, T., Nakata, T., Sawada, T., Nakajima, A. and Hayashi, K., 2000. Proc. 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Anchorage, p. 1428.
10. Suezaki, T., 2002. 49th Spring Meeting of the JSAP and Related Societies, p. 931.
11. V. Schmidt , H. Riel , S. Senz , S. Karg , W. Riess , U. Gösele , Small 2005 , 2 , 85 .
12. B. Tian , X. Zheng , T. J. Kempa , Y. Fang , N. Yu , G. Yu , J. Huang , C. M. Lieber , Nature 2007 , 449 , 885 .

13. E. C. Garnett , P. D. Yang , J. Am. Chem. Soc. 2008 , 130 , 9224.
14. C. K. Chan , H. L. Peng , G. Liu , K. McIlwrath , X. F. Zhang , R. A. Huggins , Y. Cui , Nat. Nanotechnol. 2008 , 3 , 31.
15. V. Schmidt , S. Senz , U. Gosele , Nano Lett. 2005 , 5 , 931.
16. C. L. Lee , K. Tsujino , Y. Kanda , S. Ikeda , M. Matsumura , J. Mater. Chem. 2008 , 18 , 1015.
17. X. G. Zhang , Electrochemistry of Silicon and Its Oxide. , Kluwer Academic/Plenum Publisher , New York 2001.
18. A. I. Hochbaum , D. Gargas , Y. J. Hwang , P. Yang , Nano Lett. 2009 , 9 , 3550.
19. Meredith, P., Powell, B.J., Riesz, J., Nighswander-Rempel, S.P., Pederson, M.R., and Moore, E.G. (2006). Towards structure– property– function relationships for eumelanin. *Soft Matter* 2, 37– 44.